



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A
NIVEL DE PREGRADO 2018



**Efecto de la adición de carboximetilcelulosa en las propiedades físico-mecánicas
de biopelículas de aislado proteico de Sacha Inchic**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTOR:

Stalyn Ruiz Cortez

ASESORA:

Dra. Mari Luz Medina Vivanco

Tarapoto – Perú

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A
NIVEL DE PREGRADO 2018





**Efecto de la adición de carboximetilcelulosa en las propiedades físico-mecánicas
de biopelículas de aislado proteico de Sacha Inchic**


AUTOR:


Stalyn Ruiz Cortez

Sustentada y aprobada el 15 de diciembre de 2020, por el siguiente jurado:


.....
Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada
Presidente


.....
Dr. Abner Félix Obregón Lujerio
Secretario


.....
Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge
Miembro


.....
Dra. Mari Luz Medina Vivanco
Asesora

Declaración de Autenticidad



Stalyn Ruiz Cortez, con DNI N° 76474937, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, autor de la Tesis titulada: **Efecto de la adición de carboximetilcelulosa en las propiedades físico-mecánicas de biopelículas de aislado proteico de Sacha Inchic.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mí accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 15 de diciembre de 2020.



Bach. **Stalyn Ruiz Cortez**
DNI N° 76474937

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Ruiz Cortez Itatza	
Código de alumno :	76474937	Teléfono: 934198682
Correo electrónico :	Itatza.ruizcortez@hotmail.com	DNI: 76474937

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Agroindustrial
Escuela Profesional de:	Ingeniería Agroindustrial

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	()	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	Efecto de la adición de carboximetilcelulosa en las propiedades físico-mecánicas de biopelículas de cultivo proteico de Sacha Inchi
Año de publicación:	2020

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(x)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.


.....
Firma y huella del Autor



8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

16 / 06 / 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

.....
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a todos aquellos que creyeron en mí, a aquellos que estaban en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, a aquellos que esperaban que lograra terminar la carrera, a todos aquellos que apostaban a que no me rendiría a medio camino, a todos ellos les dedico esta tesis.

A mis padres Wilson Ruiz Panduro y Petronila Cortez Chinchayhuara que día a día estaban ahí apoyándome que me guiaron desde que nací, para que, de grande sepa defenderme y salir adelante.

Agradecimiento

Al Instituto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de San Martín por el financiamiento otorgado al presente trabajo de investigación.

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos lo que de una manera u otra apoyamos a finalizarlo, por eso agradezco a mi asesora la Dra. Mari Luz Medina Vivanco por la incomparable apoyo y enseñanza. A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades. A mi hermano Lenin por siempre aconsejarme a no dejarse vencer por más grande sea el obstáculo y levantarme en cada caída que pueda tener. y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió abre sus puertas a jóvenes como yo, preparándome para un futuro competitivo y formando personas de bien.

Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Resumen	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas	5
1.2.1. Sacha Inchic (<i>Plukenetia volubilis</i> Linneo)	6
1.2.2. Derivados del sacha Inchic	8
1.2.3. Distribución geográfica del sacha inchic.....	9
1.2.4. Características del sacha inchic	9
1.2.5. Producción nacional del sacha Inchic	9
1.3. Definición de biopelículas.....	10
1.3.1. Propiedades de las biopelículas.....	10
1.3.2. Funciones de películas y coberturas biodegradables	14
1.3.3. Materiales de formación de biopelículas	15
1.3.4. Proteínas	16
1.3.5. Polisacáridos	17
1.4. Justificación para el uso de películas biodegradables	18
1.5. Propiedades antimicrobianas de los recubrimientos	19
1.6. Plastificante	20
1.7. Carboximetilcelulosa (CMC)	21
1.8. Películas a base de proteínas	22
1.9. Torta de sacha inchic	23
CAPÍTULO II.....	25
MATERIAL Y MÉTODOS	25
2.1. Lugar de ejecución	25
2.2. Materiales	25
2.2.1. Materia prima	25

2.2.2. Instrumentos y equipos	25
2.2.3. Materiales de laboratorio	26
2.2.4. Reactivos	26
2.3. Metodología	26
2.3.1. Obtención de Aislado Proteico de Sacha inchic liofilizado	26
2.3.2. Elaboración de la solución filmogénica y películas biodegradables	29
2.3.3. Caracterización del aislado proteico de sachá inchic (APSI)	31
2.4. Evaluación de las propiedades físicas	31
2.5. Evaluación de las propiedades físicas	34
2.6. Evaluación de las propiedades físicas	35
 CAPÍTULO III	 37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.1. Composición química del aislado proteico de sachá inchic (APSI)	37
3.2. Diseño experimental completo	38
3.3. Color	39
3.4. Diferencia de color (ΔE^*).....	34
3.5. Claridad (L^*)	41
3.6. Verde - Rojo (a^*).....	42
3.7. Azul – Amarillo (b^*)	43
3.8. Solubilidad (%).....	45
3.9. Permeabilidad al vapor de agua (PVA)	47
3.10. Grosor (mm).....	49
3.11. Humedad (%)	51
3.12. Elongación (%).....	52
3.13. Módulo de Young (N/mm ²).....	54
3.14. Fuerza de perforación (N)	56
 CONCLUSIONES.....	 59
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	70

Índice de tabla

Tabla 1	Estudios de películas elaboradas con carboximetilcelulosa	5
Tabla 2	Análisis químico de la semilla del sachá inchic en base seca (%)	7
Tabla 3	Análisis centesimales en la semilla de nueve ecotipos del sachá inchic, en base seca	7
Tabla 4	Propiedades de películas y coberturas proteicas y métodos para su determinación.	11
Tabla 5	Composición química proximal de la torta del sachá inchic (%).	24
Tabla 6	Métodos para el análisis composicional del aislado proteico de sachá inchic (APSI)	31
Tabla 7	Composición química del aislado proteico de sachá inchic (APSI)	37
Tabla 8	Matriz de experimentos del diseño completamente al azar con los valores de los factores y respuestas de sus propiedades físicas (color, grosor, humedad, solubilidad permeabilidad al vapor de agua), y propiedades mecánicas (elongación y perforación)	38
Tabla 9	Diferencia de color E* de las películas producidas en escala decreciente de su diferencia de color.	39
Tabla 10	Permeabilidad al vapor de agua de películas a base de proteína.	47
Tabla 11	Diseño experimental completamente al azar con los valores de los factores y respuestas de sus propiedades físicas (color, grosor, humedad, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua), y propiedades mecánicas (elongación y perforación)	72
Tabla 12	Análisis de varianza de la variable claridad (L*).	73
Tabla 13	Comparaciones múltiples de claridad (L*).	73
Tabla 14	Subconjuntos homogéneos de claridad (L*).	74
Tabla 15	Análisis de varianza de la variable Verde – Rojo (a*)	75
Tabla 16	Comparaciones múltiples de Verde - Rojo (a*)	75
Tabla 17	Subconjuntos homogéneos de Verde - Rojo (a*)	76
Tabla 18	Análisis de varianza de la variable Azul-Amarillo (b*)	77
Tabla 19	Comparaciones múltiples de Azul-Amarillo (b*)	77
Tabla 20	Subconjuntos Homogéneos de Azul-Amarillo (b*)	78
Tabla 21	Análisis de varianza de la variable Solubilidad (%)	79
Tabla 22	Comparaciones múltiples de solubilidad (%)	79

Tabla 23	Subconjuntos homogéneos de solubilidad (%)	80
Tabla 24	Análisis de varianza de la variable de permeabilidad al vapor de agua (10-10 g m ⁻¹ s ⁻¹ Pa ⁻¹)	81
Tabla 25	Comparaciones múltiples de permeabilidad al vapor de agua (10-10 g m ⁻¹ s ⁻¹ Pa ⁻¹)	81
Tabla 26	Subconjuntos homogéneos de permeabilidad al vapor de agua (10-10 g m ⁻¹ s ⁻¹ Pa ⁻¹)	82
Tabla 27	Análisis de varianza de la variable Grosor (mm)	83
Tabla 28	Comparaciones múltiples de grosor (mm)	83
Tabla 29	Subconjuntos homogéneos de grosor (mm)	84
Tabla 30	Análisis de varianza de la humedad (%)	85
Tabla 31	Comparaciones múltiples de humedad (%)	85
Tabla 32	Subconjuntos homogéneos de humedad (%)	86
Tabla 33	Análisis de varianza de elongación (%)	87
Tabla 34	Comparaciones múltiples de elongación (%)	87
Tabla 35	Subconjuntos homogéneos de elongación (%)	88
Tabla 36	Análisis de varianza del módulo de Young (N/mm ²)	89
Tabla 37	Comparaciones múltiples de módulo de Young (N/mm ²)	89
Tabla 38	Subconjuntos homogéneos de módulo de Young (N/mm ²)	90
Tabla 39	Análisis de Varianza de Perforación (N)	91
Tabla 40	Comparaciones múltiples de perforación (N)	91
Tabla 41	Subconjuntos homogéneos de perforación (N)	92

Índice de figuras

Figura 1	Funciones de películas y coberturas comestibles	15
Figura 2	Materiales biopoliméricos usados en formulaciones de películas y coberturas	16
Figura 3	Diagrama de flujo para la obtención de aislado proteico de sachá inchi a partir de la torta	28
Figura 4	Diagrama de flujo para la obtención de la película biodegradable.	30
Figura 5	Vapómetro	32
Figura 6	Colorímetro tri-estímulo	33
Figura 7	Micrómetro digital	34
Figura 8	Texturómetro	35
Figura 9	Claridad (L^*) en función de la concentración de CMC (%) y los resultados de claridad (L^*).	42
Figura 10	Verde - Rojo (a^*) en función de la concentración de CMC (%) y los resultados de Verde - Rojo (a^*).	43
Figura 11	Azul - Amarillo (b^*) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)	44
Figura 12	Solubilidad (%) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)	46
Figura 13	Permeabilidad al vapor de agua (PVA) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)	48
Figura 14	Grosor (mm) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)	50
Figura 15	Humedad (%) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)	52
Figura 16	Elongación (%) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)	53
Figura 17	Módulo de Young (N/mm^2) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)	55
Figura 18	Fuerza de Perforación (N) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)	56

Resumen

El creciente interés de consumidores y productores por envases o empaques biodegradables para preservar el ambiente, ha impulsado el desarrollo de películas basadas en polímeros biodegradables son una alternativa al tradicional termoplástico, por eso el presente trabajo tuvo por objetivo la obtención de biopelículas de aislado proteico de sachá inchi a partir de la torta, procedentes de la extracción de aceite extra virgen del sachá inchi empresa Shanantina S.A.C. Que fue obtenida mediante extracción por prensa, siendo el contenido proteico del Sachá Inchi de $84,773 \pm 0,558$ respectivamente, con una cantidad de grasa de $4,8 \pm 0,135$. El aislado proteico de sachá inchi y carboximetilcelulosa fueron mezcladas para formar biopelículas con mejor propiedades físico - mecánicas, en cuanto a las propiedades físicas de las películas elaboradas (ΔE^* , L^* , b^* , solubilidad y permeabilidad al vapor de agua) tuvieron influencia significativa a medida que se aumentaba la carboximetilcelulosa, propiedades como humedad y espesor no se afectaron por la concentración de carboximetilcelulosa debido a que se utilizó la misma cantidad de macromoléculas en los tratamientos (7%). la solubilidad en las biopelículas APSI/CMC estuvieron en un rango ($31.399 \pm 3.917\%$ a $55.523 \pm 3.968\%$). La adición de CMC en las biopelículas, mejoró las propiedades mecánicas, ya que aumentaron los valores de elongación, módulo de Young y fuerza de perforación a medida que se incrementaba la concentración de CMC, dando como resultados películas con mayor resistencia.

Palabras clave: Carboximetilcelulosa, propiedades, físico-mecánicas, biopelículas, biodegradables, Sachá Inchi.

Abstract

The growing interest of consumers and producers for biodegradable containers or packaging to preserve the environment, has promoted the development of biofilms based on biodegradable polymers as an alternative to traditional thermoplastic. The aim of the present study was to obtain a biofilms from sacha inchic protein isolate from the cake resulting from the extraction of extra virgin sacha inchic oil from the Shanantina S.A.C. company, which was obtained by press extraction, the protein content of the Sacha Inchic was 84.773 ± 0.558 respectively, with a fat content of 4.8 ± 0.135 . Sacha inchic protein isolate and carboxymethylcellulose were mixed to form biofilms with better physical-mechanical properties; regarding the physical properties of the elaborated films (ΔE^* , L^* , b^* , solubility and water vapor permeability) had significant influence as carboxymethylcellulose increased, properties such as humidity and thickness were not affected by the concentration of carboxymethylcellulose because the same amount of macromolecules was used in the treatments (7%). The solubility in the APSI/CMC biofilms ranged ($31.399 \pm 3.917\%$ to $55.523 \pm 3.968\%$). The addition of CMC in the biofilms improved the mechanical properties, since the values of elongation, Young's modulus and puncture strength increased as the CMC concentration increased, resulting in films with higher strength.

Keywords: Carboxymethylcellulose, properties, physico-mechanical, biofilms, biodegradable, Sacha Inchic.



Introducción

En los últimos años, la globalización ha inspirado a buscar tecnologías para obtener productos alimentarios que presenten calidad e inocuidad y seguridad, existiendo la necesidad de contar con empaques que aseguren la adecuada conservación de los alimentos reduciendo el impacto hacia nuestro ambiente, estos restos de alimentos o empaques, han permitido generar propuestas de investigación en recubrimientos que sean utilizables, así como que lleguen a ser comestibles o biodegradables.

Los empaques comestibles, es una manera de buscar la reducción a la utilización de bolsas plásticas que pueden perjudicar al ambiente, además se puede resaltar propiedades mecánicas y de barrera, resistentes contra la migración de la humedad, la conservación de la calidad sensorial y el control de cambios bioquímicos como procesos de maduración, fermentación o descomposición. Los empaques comestibles son elaborados en su mayoría a partir de polisacáridos, aceites, resinas y ceras naturales, la mayoría de estos componentes se obtienen de diversas fuentes de origen vegetal. Una película comestible y biodegradable se define como una capa de material comestible y biodegradable que puede ser formada sobre un alimento como una cobertura o preformada como una película, y que puede colocarse entre los componentes de un alimento o ser un envoltorio para éste. Sus propiedades le permiten controlar la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas y lípidos, incluir en el sistema ingredientes alimentarios (por ejemplo: antioxidante, antimicrobiano y sabores), y/o mejorar la integridad mecánica y de manipulación del alimento (Krotcha y De Mulder-Johnston, 1997).

En el caso de aislado proteico obtenido de sachá inchi, puede ser empleado para elaborar películas o biofilms que pueden ser aplicados para el envasado de alimentos, además, la adición de aceites y gomas a estos films permite tener mejor flexibilidad y permeabilidad en el producto terminado mejorando sus propiedades físicas y mecánicas.

Objetivos

Objetivo general

Elaborar y evaluar biopelículas a partir del aislado proteico de sachá inchi (APSI) y carboximetilcelulosa (CMC).

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la adición de CMC en las propiedades físicas de películas biodegradables de aislado proteico de sachá inchi (APSI).
- Evaluar el efecto de concentración de CMC en las propiedades mecánicas de películas biodegradables de aislado proteico de sachá inchi (APSI).

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes

A partir de los años 70, los polímeros petroquímicos, han sido el material más extensamente usado para embalar debido a su alto rendimiento y su bajo precio (Debeaufort, 1998). Sin embargo, los serios problemas ambientales asociados al uso de materiales no biodegradables han impulsado a los científicos a buscar nuevos materiales alternativos biodegradables (Petersson y Stading, 2005).

Sobral et al., (2005), evaluaron el efecto de la concentración de proteína (1 o 2 g/100 g de Solución Filmogénica de Proteína) y glicerol (15-65 g/100 g de proteína) sobre el color, opacidad, propiedades mecánicas y propiedades viscoelásticas de películas hechas con proteínas del músculo de Thai Tilapia. Concluyeron que, prácticamente, todas las propiedades estudiadas fueron afectadas por la concentración de glicerina; sin embargo, la concentración de proteína no fue evidente en todas las propiedades. El aumento de la concentración de glicerol causó la reducción en la diferencia de color debido al efecto de dilución de la glicerina, independientemente de la cantidad de proteína en la SFP. También pudieron concluir que las películas hechas con mayor contenido de proteína fueron más resistentes. Pero este comportamiento puede ser afectado por el plastificante.

Las biopelículas (BP) pueden actuar como una barrera a la migración de humedad, gases, aromas y solutos. Igualmente, pueden funcionar como acarreadores de ingredientes alimentarios (compuestos activos, agentes antimicrobianos, saborizantes y colorantes) extendiendo la vida útil y/o influenciando las propiedades mecánicas (resistencia y flexibilidad) de la matriz alimentaria (Kokoszka et al., 2010). En este sentido, las BP basadas en polisacáridos son vistas como potenciales sustitutos de los empaques sintéticos tradicionales y han sido caracterizadas por múltiples investigadores (Ahmadi y Kalbasi, 2012; Ghasemlou y Khodaiyan, 2011), ya que son considerados barreras efectivas contra los gases y solutos por su densa matriz polimérica.

La celulosa es el principal componente de las paredes celulares de plantas y algas verdes. Este biopolímero se presenta en la madera en un 40 – 50%, 80% en fibras de lino y 90% en

las fibras de algodón (Marchessault y Sundararajan, 1983). La CMC se utiliza como espesante y estabilizante, pero también como fibra dietética (Schuh et al., 2013), genera rendimientos de producción muy altos, lo que disminuye los costes de los productos (DEIA, 2013).

Según García *et al.* (2004), la solubilización en agua de la celulosa de éter aniónico y la carboximetilcelulosa (CMC) permite la compatibilidad con otro tipo de biomoléculas, mejorando las propiedades mecánicas y de barrera en las películas elaboradas. La CMC es una película capaz de absorber el aceite recogido en los alimentos sometidos a proceso de fritura profunda.

Películas elaboradas de bagazo de yuca, CMC y residuos de papel Kraft han mostrado una alta resistencia, importante propiedad para la fabricación de panales de huevo, empaques para frutas y verduras (Matsui *et al.*, 2004).

Tongdeesoontorn et al. (2011) elaboraron películas a base de almidón de yuca (5% p/v) plastificadas con glicerol (30 g/100 g de almidón) y evaluaron el efecto de las concentraciones de carboximetilcelulosa (CMC) (0, 10, 20, 30 y 40% p/p sólido total) y humedad relativa (34 y 54% HR) en las propiedades mecánicas y solubilidad en agua de las películas. Los mismos autores observaron que la concentración creciente de CMC aumentó la resistencia a la tracción, redujo el alargamiento a la rotura y disminuyó la solubilidad en agua de las películas. Esto se atribuyó a la buena interacción entre el almidón de yuca y CMC. Los autores reportan que las películas compuestas de almidón de yuca-CMC tienen el potencial de reemplazar el envasado convencional y sugieren que las películas desarrolladas son adecuadas para productos alimenticios y farmacéuticos de baja humedad.

Tabla 1*Estudios de películas elaborados con carboximetilcelulosa*

Biopolímero	Concentración de biopolímero (p/v)	Concentración de glicerol (p/p biopolímero)	Estudio	Referencia
Carboximetilcelulosa (CMC)	1-5 %	0.30 %	Propiedades mecánicas de las películas	Tongdeesoontorn et al. (2011)
	1-2%	0,50 %	Efecto del plastificante en propiedades mecánicas	Boateng et al. (2009)
	3%	0	Propiedades físicas	Espinoza Herrera et al. (2011)
	2-5%	50 %	Propiedades mecánicas a distintas concentraciones del polímero	Wang et al. (2007)
	2%	0	Propiedades mecánicas de las películas	De Moura et al. (2011)

Fuente: Elaboración propia

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Sacha inchic (*Plukenetia volubilis* Linneo)

El sachá inchic o *Plukenetia volubilis* Linneo, perteneciente a la familia Euphorbiaceae, conocido también con los nombres de sachá inchic, sachá maní, maní del inca, maní del monte, maní jíbaro o inca peanuts, es una planta proteica oleaginosa silvestre, es una liana trepadora, vigorosa, semileñosa y perenne de rápido crecimiento y desarrollo. Su eje principal alcanza una altura de más de 10 metros de largo y tiene hojas alternas acorazonadas de 10 a 12 centímetros de largo y de 8 a 10 centímetros de ancho, con nervaduras que nacen en la base y una nervadura central que se orienta hacia el ápice de la hoja (Arévalo, 2000). Valles (1994) señala que sus frutos están formados por cuatro cápsulas dehiscentes, es decir, que se abren naturalmente. Dentro de las cápsulas se encuentran las semillas de color marrón oscuro, ovaladas, con un diámetro de 1,5 a 2 centímetros, ligeramente abultadas en el centro y aplastadas en los bordes. La semilla está compuesta en 33 a 35% de cáscara y 65 a 67% de almendra.

1.2.1.1. Descripción botánica

Según McBride (1951), mencionado por Vela (1995), es la siguiente:

- Reino : Vegetal
- División : Spermatophyta
- Sub división : Angiospermae
- Clase : Dicotiledónea
- Orden : Euphorbiales
- Familia : Euphorbiaceae
- Género : *Plukenetia*
- Especie : *volubilis* L.

1.2.1.2. Composición química del sachá inchic

1.2.1.2.1. Semilla del sachá inchic

Los primeros reportes de análisis fueron realizados en la Universidad de Cornell (USA), que indican que la almendra de las semillas contiene 54,8 % de aceite y 28,52 % de proteína, además, se señala que el aceite de sachá inchic tiene un alto contenido de ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico y linolénico) (Hazen y Stoewesand, 1980; citado por Manco, 2006).

Según Hamaker et al. (1992) obtuvieron 54 % de aceite y 27 % de proteína. Las proteínas hidrosolubles tienen un mínimo de solubilidad a pH - 4. Sus fracciones proteicas de Osborne: albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas son 43,7%, 27,3%, 3%, y 31,9%, respectivamente, del total de las proteínas hidrosolubles (Sathe et al., 2012). Así mismo, García (1992) reportó los siguientes resultados con respecto a la composición química proximal del sachá inchic: proteína 24,22 %, grasa 43,10 %, carbohidratos 7,72 % y ceniza 2,80 %. Por otro lado, Pascual y Mejía (2000) reportaron resultados en el análisis químico proximal de la semilla del sachá inchic, con un alto contenido de proteínas, como se muestra en la tabla 2.

24,7 %, 30,9 % y 4 %, respectivamente y principales minerales presentes en la semilla al potasio (5563,5 ppm), magnesio (3210 ppm) y calcio (2406 ppm).

Sathe et al. (2012) analizaron muestras de harinas desengrasadas de semillas del sachá inchic, determinando su porcentaje de proteína (59,1 %); humedad (8,32 %); cenizas (6,46 %) y el contenido de hidratos de carbono solubles en la harina desgrasada (1,03 %).

1.2.2. Derivados del sachá inchic

Los principales derivados de la semilla de sachá inchic son el aceite del mismo nombre y la harina proteica. Otros derivados conocidos son el maní de sachá inchic, la semilla tostada, y la mantquilla producida artesanalmente para autoconsumo. La tecnología aplicada para su cultivo orgánico y el proceso industrial de extracción, el aceite de sachá inchic es un aceite de alta calidad para la alimentación. Es el mejor aceite para consumo humano doméstico pues supera a todos los aceites utilizados actualmente, como aquellos de oliva, girasol, soya, maíz, palma, maní, etcétera.

Según Arévalo (2000) para su adecuada producción, el sachá inchic requiere ciertas condiciones idóneas como un terreno fácilmente adaptable a suelos francos; sin embargo, se debe cuidar el riego en suelos arcillosos debido a que genera la asfixia radical del cultivo debido a una mayor retención de humedad. El cultivo tolera suelos ácidos, pero se observa un mejor comportamiento en suelos con un pH de 5,0 a 6,0.

El sachá inchic crece desde los 100 hasta los 1500 m. s. n. m. y para un crecimiento sostenido requiere de disponibilidad permanente de agua. Se desarrolla bajo regímenes de precipitación que van de 1000 a 1250 m. m. Si la intensidad de luz es baja, la planta necesita mayor número de días para completar su ciclo vegetativo. Se observa que existe mayor fructificación cuando se encuentra plenamente expuesta a los rayos solares, con una humedad relativa promedio de 78% y una temperatura media de 26 °C. En estas condiciones las plantas están prácticamente libres de enfermedades. Además, el cultivo responde muy bien a la aplicación de materia orgánica que puede ser compost, estiércol, humus de lombriz o material orgánico. Se recomienda aplicar 2 kilogramos de materia orgánica por metro cuadrado. De acuerdo con estos requerimientos, el cultivo de sachá inchic se puede realizar tanto en la selva como en algunas zonas de la costa del Perú que los poseen dentro de rangos aceptables (Arévalo, 2000).

1.2.3. Distribución geográfica del sachá inchic

En el Perú *Plukenetia volubilis* L. se encuentra reportada en los departamentos de San Martín, Ucayali, Huánuco, Cuzco, Amazonas, Loreto y Madre de Dios; dentro del departamento de San Martín fue reportado en la cuenca del Huallaga, en la provincia de Lamas, en el Valle de Sisa, y en Alto y bajo Mayo (Manco, 2006).

El género *Plukenetia* es un género de plantas tropicales de la familia Euphorbiaceae, comprende 19 especies, de las cuales 12 se encuentran en Sudamérica y 7 en Europa. Algunos autores consideran la existencia de estas especies en África Occidental.

El hábitat de estas especies son los bosques tropicales lluviosos y bosques o matorrales pluviestacionales. El género se caracteriza por ovarios con cuatro carpelos, estilo total o parcialmente connado y hábito frecuentemente trepador. Para la identificación en terreno, el mejor carácter es la presencia de glándulas conspicuas, basilaminares, redondeadas o elípticas en la cara adaxial de las hojas, y el fruto tetrámero (Herrera et al., 2010).

1.2.4. Características del sachá inchic

Una de las características principales que hace atractiva la semilla de sachá inchic frente a otros productos alternativos es su alto contenido de aceites (54%) y proteínas (33%) (Hamaker et al., 1992). Además, es una de las semillas que posee mayor cantidad de ácidos grasos omega 3 (48,6%). Es un alimento concentrado con más grasa que la crema de leche, más calorías que el azúcar y mayor calidad en vitaminas, proteínas y minerales que la carne de res (Valles, 1990). Esta característica lo hace muy recomendable como alimento frente a otros productos como la aceituna, las semillas de lino y el pescado.

1.2.5. Producción nacional del sachá inchic

En el Perú se produce sachá inchic en San Martín, Loreto y Ucayali. Las zonas productoras del sachá inchic en San Martín se encuentran concentradas en la cuenca del Huallaga (Tocache en el alto Huallaga, Picota y Bellavista en Huallaga Central, provincia de Lamas, Valle de Sisa, Alto Mayo y Bajo Mayo). Existe, según la Dirección Estadística de la DRASAM un área potencial de aproximadamente 20000 hectáreas en la zona para el desarrollo del cultivo, en su mayoría en la parte centro del departamento (DRASAM, 2010). Las series históricas demuestran un incremento continuo en el área cultivada; en el caso de la región San Martín, en el año 2005 – 2006 el área cultivada fue de 1266 Ha logrado una

producción de 209,50 TM; en el año 2006 – 2007 se redujo a 907,50 Ha y una producción de 524 TM; en la campaña 2007 – 2008 se incrementó a 1755 Ha logrado una producción de 882,50 TM; en el año 2008 – 2009 aumentó a 1908 Ha y una producción de 694 TM y en el 2009 – 2010 el cultivo se incrementó a 1918,50 Ha produciendo 860,28 TM (DRASAM, 2010).

1.3. Definición de biopelículas

Las películas y recubrimientos comestibles como aquellos formados a partir de formulaciones que contengan aditivos permitidos para su uso alimentario. Constituyen una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua que retrasa el deterioro del alimento, mejoran las propiedades mecánicas, ayudan a mantener la integridad estructural del producto que envuelven, a retener compuestos volátiles y también pueden vehiculizar aditivos alimentarios (antimicrobianos, microorganismos de control biológico, antioxidantes, aromatizantes, colorantes, entre otros). Una de las ventajas más valiosa que ofrecen las películas y recubrimientos comestibles está relacionada con la viabilidad para incorporar agentes antimicrobianos y proveer estabilidad microbiológica a los alimentos, para que puedan extender la vida en anaquel de un producto y reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en la superficie de los alimentos (Marsh y Bugusu, 2007).

Una película o un recubrimiento comestible se definen como una capa delgada de material que puede ser ingerida por el consumidor. Puede ser aplicada sobre o entre los alimentos por inmersión, cepillado, rociado o enrollado y funciona como una barrera selectiva contra la transmisión de gases tales como el CO₂ y el O₂, vapores y solutos, además de proporcionar integridad mecánica y manejo de los alimentos. Además de sus propiedades de barrera, las películas y recubrimientos comestibles pueden actuar como transportadores de aditivos funcionales para alimentos tales como antioxidantes, sabores, nutrientes y antimicrobianos (Krochta y De Mulder, 1997).

1.3.1. Propiedades de las biopelículas

Según Kester y Fennema (1986) los recubrimientos comestibles deben presentar ciertos requerimientos funcionales que permitan controlar o aminorar las causas de alteración de los alimentos a recubrir.

La tabla 4 presenta una lista de las propiedades de interés en películas y coberturas proteicas, junto con las referencias pertinentes a los métodos de ensayo.

Tabla 4

Propiedades de películas y coberturas proteicas y métodos para su determinación.

Propiedad de la película o cobertura	Método de medición
Permeabilidad al vapor de agua	ASTM E 96 (ASTM, 1995) ASTM F 1249 (ASTM, 1995) (McHugh, Avena-Bustillos, y Krochta, 1993) (Gennadios, Weller, y Gooding, 1994)
Permeabilidad al oxígeno	ASTM D 3985 (ASTM, 1995) (Gilbert y Pegaz, 1969)
Permeabilidad a aromas	(Hernandez, Giacini, y Baner, 1986) (Miller y Krochta, 1998)
Permeabilidad a aceites	ASTM F 119 (ASTM, 1992) (De Mulder-Johnston, 1999)
Propiedades de tracción	ASTM 882 (ASTM, 1997)
Solubilidad de la película o cobertura	(Handa, Gennadios, Froning, Kuroda, y Hanna, 1999)
Solubilidad de proteínas de la película o cobertura	(Roy, Weller, Gennadios, Zeece, y Testin, 1999)
Brillo	ASTM D 523 (ASTM, 1995)
Color	ASTM D 1925 (ASTM, 1995)

Fuente: (Krochta, 2002).

1.3.1.1. Propiedades mecánicas

Las propiedades más usualmente medidas para caracterizar mecánicamente películas son la resistencia a la tracción (TS) (fuerza de tracción por unidad de área de sección transversal, de una película, requerida para romper la película), elongación (E) (grado en que la película se puede estirar antes de romperse), y módulo elástico (EM) (rigidez de la película determinada por la relación entre la fuerza de tracción/área y el grado de estiramiento de la película). La dureza de la película se aproxima por el producto de TS y E (Krochta, 2002). Otros ensayos mecánicos pueden incluir resistencia a la compresión, resistencia a la punción, resistencia al rasgado, resistencia a la abrasión, fuerza de adhesión, resistencia al plegado, y otros (Han, 2014).

Las películas de proteína parecen tener TS más bajas que la mayoría de las películas a base de polisacáridos y polímeros sintéticos, y más baja E que las películas sintéticas. El nivel de plastificante tiene un efecto dramático sobre las propiedades, de tal forma que cuando el

contenido de plastificante aumenta, TS y EM decrece y E aumenta. Cuando el nivel de plastificante se disminuye para obtener valores TS de películas proteicas similares a aquellas de polietileno (PE) o polipropileno (PP), los valores de E son uno o dos órdenes de magnitud más bajos que aquellas de PE o PP (Krochta, 2002).

En general, bajo condiciones de altas humedades relativas, las propiedades físicas son más bajas que a bajas humedades relativas, porque el agua absorbida funciona como plastificante. La temperatura también afecta las propiedades físicas y mecánicas de películas y coberturas comestibles. La resistencia física de los materiales disminuye dramáticamente cuando la temperatura aumenta por encima de la temperatura de transición vítrea. Alta humedad relativa y grandes cantidades de plastificantes disminuyen la temperatura de transición vítrea de los materiales formadores de películas (Guilbert, et al., 1997; Miller, et al., 1998; Wu et al., 2002).

1.3.1.2. Propiedades de barrera

El principal interés en películas y coberturas comestibles está basado en el potencial de proveer una combinación de barreras a la humedad, oxígeno, flavor, aroma, color, o aceite para un alimento o medicina, con un incremento su calidad y vida útil. En consecuencia, es de interés determinar la permeabilidad de películas comestibles a estas sustancias. La permeabilidad es una propiedad de estado estacionario que describe el grado en que una sustancia permeante se disuelve y luego la velocidad a la que se difunde a través de una película, con una fuerza impulsora relacionada con la diferencia de concentraciones del permeante entre ambos lados de las películas. La permeabilidad es por tanto definida como:

$$Permeabilidad = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{Velocidad de permeación en estado} \\ \text{estacionario de una película por} \\ \text{unidad de tiempo} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Espesor de} \\ \text{película} \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{c} \text{Área de película} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{concentración del permeante} \\ \text{o diferencia de presión parcial} \\ \text{a través de la película} \end{array} \right)}$$

donde la concentración o diferencia de presión parcial es entre las fases adyacentes a los dos lados de la película.

El carácter polar de las proteínas determina las propiedades de barrera de las películas proteicas. Estas tienen alta permeabilidad a sustancias polares, tales como el vapor de agua,

y baja permeabilidad a sustancias no polares, tales como el oxígeno, aromas y aceites. Debido a que los plastificantes, incluyendo al agua, incrementan la permeabilidad de las películas, la permeabilidad de las películas proteicas tanto a sustancias polares como no polares se incrementa con el contenido de plastificante y HR. El reto al usar las propiedades de barrera de películas proteicas es seleccionar la proteína, el plastificante y las condiciones de formación de película que optimicen las propiedades de barrera, a la vez que se logren otras propiedades deseables tales como la flexibilidad, resistencia, y solubilidad. La falta de conocimiento y datos sobre películas comestibles, en general, sigue impidiendo el diseño de películas comestibles que cumplan los deseos de especificación. El contenido de plastificante (tipo y cantidad) y las condiciones de las pruebas (temperatura y HR). tienen efectos importantes sobre la formación y las propiedades de las películas, a esto se suma el incrementando de la cantidad de plastificante, temperatura y HR, generalmente, se incrementa la permeabilidad. Por lo tanto, las propiedades de las películas deben ser compararse en condiciones de ensayo tan idénticas como sean posibles (Krochta, 2002).

1.3.1.2.1. Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Las películas proteicas tienen valores de PVA bastante altos comparados con ceras comestibles, las cuales son a menudo usadas como coberturas de barrera a la humedad sobre frutas, vegetales, confites, y medicinas, y con películas de polietileno de baja densidad (PEBD), que se usan para proteger alimentos y medicinas de la humedad. La PVA de películas proteicas es dos a cuatro veces más grande que las películas de PEBD. Las proteínas solubles en soluciones hidroalcohólicas, zeína de maíz y gluten de trigo, y también proteínas miofibrilares de pescado forman películas que tienen los más bajos valores de PVA entre las proteínas y son comparables a la PVA de derivados de la celulosa. Varios estudios muestran el efecto de altas concentraciones de plastificante y altos valores HR sobre el incremento de la PVA (Krochta, 2002).

1.3.1.2.2. Permeabilidad al oxígeno (PO)

A valores bajos e intermedios de HR, las películas proteicas tienen valores de PO que son más bajos que las de polietilenos (los cuales no son buenas barreras al oxígeno), comparables a aquellos de modesta barrera al oxígeno como son los poliésteres, y aproximándose a aquellas películas que son las mejores barreras al oxígeno, el copolímero del etilen-vinil-alcohol (EVOH) y el cloruro de polivinilideno (PVDC). Las películas proteicas también

parecen tener valores de PO más bajos que aquellas hechas de celulosa. Algunos estudios muestran el efecto de altos valores HR sobre el incremento de la OP de películas proteicas, la cual es similar al efecto de la HR sobre las excelentes barreras al oxígeno de películas de EVOH. Los bajos valores de OP de películas proteicas parecen hacerlas útiles para coberturas y bolsas para productos sensibles al oxígeno.

1.3.1.2.3. Solubilidad

La solubilidad de las películas y coberturas es una importante propiedad que se relaciona con el uso deseado. En algunos casos, una película o cobertura fácilmente soluble en agua es deseable, como en el caso de una bolsa que contienen ingredientes alimenticios. En otros casos, se prefiere una película o cobertura insoluble para mejorar la resistencia al agua y mejorar la integridad del alimento. Los formadores de películas (filmogénicos) tales como la zeína de maíz y el gluten de trigo que no son solubles en agua producen películas y coberturas que no son solubles en agua. Las proteínas filmogénicas que son solubles en agua producen películas de variable solubilidad, dependiendo de la proteína y las condiciones de formación y tratamiento de las películas. Por ejemplo, el aislado proteico de lactosuero nativo produce películas totalmente solubles en agua; pero las soluciones termo-desnaturalizadas producen películas insolubles en agua (Pérez-Gago et al., 1999).

1.3.1.3. Otras propiedades

Varias otras características de las películas son a menudo estudiadas, especialmente para la comprensión de las propiedades mecánicas y de barrera de las películas. Estas son el grosor, isothermas de sorción, difusividad de solutos dentro de las películas, color y opacidad, etc. (Debeaufort y Voilley, 1994).

1.3.2. Funciones de películas y coberturas biodegradables

Al igual que las películas y coberturas comestibles, las películas y coberturas biodegradables pueden funcionar como barreras a la humedad, oxígeno, flavor, aroma, y/o aceite, para proteger la calidad del alimento y otros productos de su entorno. En contraste con las películas y coberturas comestibles, el propósito de las películas y coberturas biodegradables es, en general, reemplazar totalmente el empaque sintético convencional u otros productos sintéticos convencionales. una película biodegradable (e.g., una bolsita) o cobertura (e.g., sobre papel) puede también proporcionar algo de protección mecánica para un alimento,

droga, u otro producto (figura 1). Si un material biodegradable es moldeado en estructuras como cubiertos, platos, etc., tales artículos también deben tener apropiadas propiedades mecánicas. La función de las películas y coberturas biodegradables también pueden ser mejoradas con la adición de antioxidantes y antimicrobianos. Por último, los atributos sensoriales de películas y coberturas biodegradables, tales como transparencia, brillo, y color, también son importantes (Krochta, 2002).

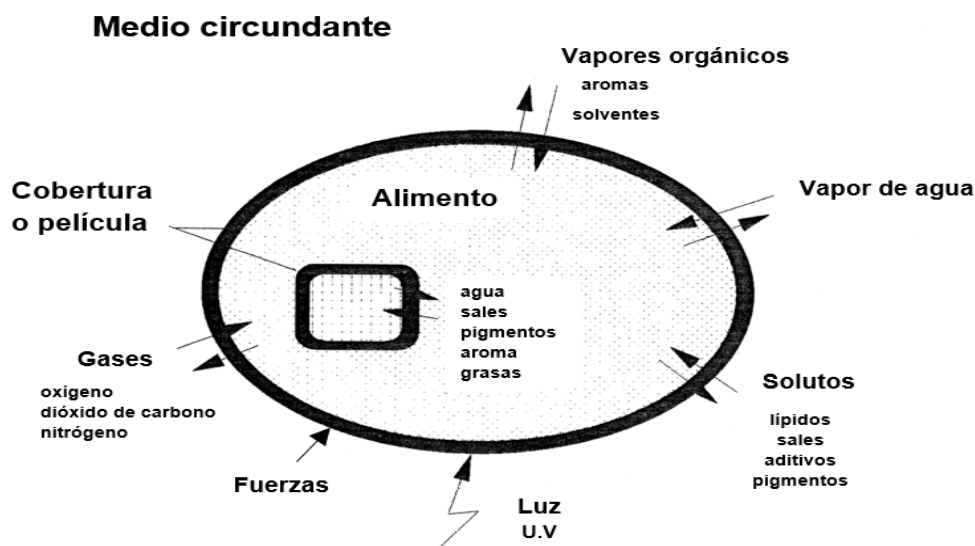


Figura 1. Funciones de películas y coberturas comestibles (Debeaufort et al., 1998)

1.3.3. Materiales de formación de biopelículas

El deterioro de alimentos durante el almacenamiento puede ser retardado al mejorar los empaques. Se requiere que dicho empaque proteja al producto del medio ambiente, principalmente de los gases y de la humedad; además, es deseable que este funcione como barrera contra microorganismos que puedan contaminar el alimento. De igual manera existe una creciente preocupación por reducir la contaminación generada por el uso y la producción de envases alimenticios hechos con plástico. Como posible solución se estudian materiales biodegradables. Debido a esto, se han buscado diversas alternativas; entre ellas y una de las más estudiadas es el desarrollo de películas comestibles (Rawdkuen *et al.*, 2010).

Las películas comestibles deben funcionar como barrera selectiva a la transferencia de humedad y gases, además de evitar la oxidación de lípidos y la pérdida de compuestos volátiles responsables de los aromas y sabores de ciertos alimentos (Espino-Díaz, *et al* 2010). Deben estar formuladas con compuestos de grado alimenticio y además cumplir con los costos relativamente bajos de producción (Vargas *et al.*, 2008). Los materiales probados para

la formación de películas incluyen proteínas, polisacáridos y lípidos. Entre las proteínas principales se encuentran la gelatina, el colágeno y algunas proteínas de origen vegetal como las de soja y maíz. Los polisacáridos más estudiados incluyen celulosa y sus derivados, mientras que los lípidos más utilizados son las ceras, triglicéridos y algunos ácidos grasos (Nanda y Nayak, 2009). En la figura 2 se muestran los biopolímeros que tienen un potencial de uso en la fabricación de películas y coberturas.

Los materiales biodegradables que son derivados de ingredientes alimentarios tales como polisacáridos, proteínas, lípidos y lípidos, son comestibles y han atraído mucho interés en los últimos años debido a su potencial capacidad para reemplazar los plásticos convencionales y actuar como películas y/o coberturas en contacto con los alimentos (Nur y Kerry, 2014). Los materiales formadores de películas y coberturas comestibles pueden ser hidrofílicos o hidrofóbicos, o ambos; sin embargo, para mantener su comestibilidad, los solventes usados pueden ser agua o etanol (Peyron, 1991).

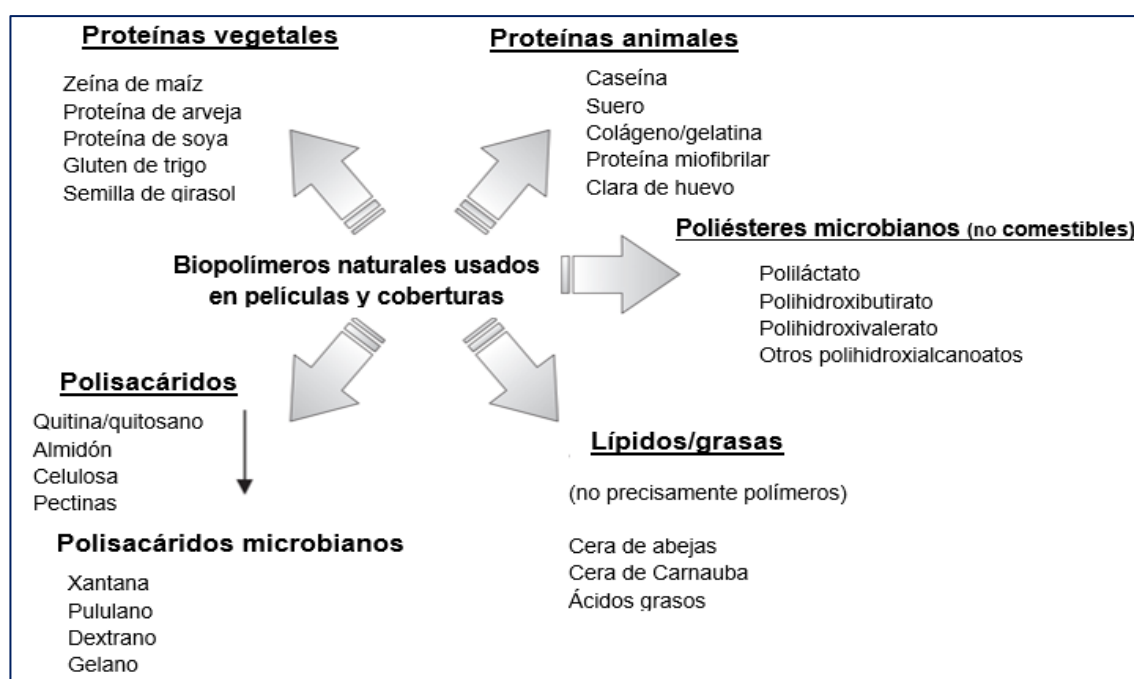


Figura 2. Materiales biopoliméricos usados en formulaciones de películas y coberturas (Guérin – Dubiard y Audic, 2007)

1.3.4. Proteínas

Las películas de proteínas poseen mayor resistencia al vapor de agua que el resto de los hidrocoloides solubles en agua. Son susceptibles al cambio de pH, pueden proporcionar un

valor nutricional agregado al producto, son buenas formadoras de películas y se adhieren a superficies hidrofílicas (Ruíz et al., 2007).

Las proteínas abarcan una gran variedad de componentes poliméricos que proveen estructura y actividad biológica en plantas o animales. Las proteínas se distinguen de los polisacáridos porque ellas están basadas en aproximadamente 20 aminoácidos (monómeros), en vez de unos pocos monómeros, tales como la glucosa en el caso de celulosa y almidón. Los aminoácidos son similares en que contienen un grupo amino ($-NH_2$) y un grupo carboxil ($-COOH$) unidos a un átomo de carbono central. Sin embargo, cada aminoácido tiene un grupo lateral diferente unido al carbono central que le da un carácter único al aminoácido. El grupo lateral puede ser no polar (hidrofóbico), polar sin carga (hidrofílico), cargado positivamente a pH 7, o cargado negativamente a pH 7 (Nelson y Cox, 2005).

La mayoría de las proteínas contienen 100-500 residuos aminoacídicos. Dependiendo del orden secuencial de aminoácidos (estructura primaria de las proteínas), la proteína asumirá diferentes estructuras a lo largo de la cadena polimérica (estructura secundaria de la proteína), basada en enlaces Van Der Waals, hidrógeno, electrostáticos, hidrofóbicos, e interacciones de reticulación disulfuros entre las unidades de aminoácidos (Cheftel, Cuq y Lorient, 1985).

La estructura terciaria refleja cómo la estructura secundaria se organiza respecto a otra cadena polipeptídica, basada en los mismos tipos de interacciones, para formar estructuras globulares, fibrosas o aleatorias. Por último, las estructuras cuaternarias se producen cuando proteínas enteras interactúan con otras en asociaciones para proveer estructuras únicas o una determinada actividad biológica, las estructuras secundarias, terciarias y cuaternarias de las proteínas pueden ser modificadas por varios agentes físicos y químicos, incluyendo calor, tratamiento mecánico, presión, irradiación, interfaces de lípidos, ácidos y álcalis, e iones metálicos (Cheftel, Cuq, y Lorient, 1985). Tales agentes son a menudo usados en la formación de películas y coberturas para optimizar la configuración proteica, las interacciones y las propiedades de las películas (Krochta, 2002).

1.3.5. Polisacáridos

Debido a la naturaleza hidrofilia de estos polímeros, no tienen buenas propiedades de barrera contra la humedad, Sin embargo, ciertos polisacáridos cuando son utilizados en la forma de recubrimientos gelatinosos de alta humedad, que retardan la pérdida de humedad de algunos alimentos, durante periodos de almacenamiento cortos. Las películas de polisacáridos tienen

buenas propiedades de barrera a los gases y pueden adherirse a superficies de frutas y vegetales (Baldwin et al., 1995).

Los polisacáridos son utilizados en la industria de alimentos como gelificantes, espesantes, estabilizantes y formadores de películas comestibles, entre otras aplicaciones. Se obtienen principalmente de vegetales, algas y microorganismos. Entre los polisacáridos obtenidos de vegetales están la celulosa y el almidón; los polisacáridos obtenidos de algas que más se utilizan son los alginatos, las carrageninas y el agar; mientras que los polisacáridos obtenidos de microorganismos incluyen la goma xantana, el dextrano y la goma gellan, entre otros (Khan et al., 2007).

1.3.6. Lípidos y resinas

Los compuestos lipídicos utilizados como revestimiento de protección consisten en monoglicéridos acetilados, cera natural, y surfactantes. Las sustancias lipídicas más eficaces son la cera de parafina y cera de abejas. La función principal de una capa de lípidos es bloquear el transporte de humedad debido a su baja polaridad relativa. Por el contrario, la característica hidrófoba de los lípidos forma películas gruesas y frágiles (Muñoz et al., 2012). Estos materiales también son usados como materiales formadores de películas, pero no son polímeros, y evidentemente, “biopolímeros” es un nombre incorrecto para ellos (Han, 2014). Lípidos comestibles incluyen cera de abejas, cera de candelilla, cera de carnauba, triglicéridos (e.g., fracciones de grasa láctea), monoglicéridos acetilados, ácidos grasos, alcoholes grasos, y ésteres de sacarosa. Las resinas comestibles incluyen el shellac y resinas terpénicas. Debido a que los lípidos y resinas no son polímeros, ellos no forman películas independientes cohesivas. Sin embargo, además del brillo deseable que pueden proveer, estos materiales pueden ser usados para cubrir un alimento o superficies de fármacos para proporcionar una barrera a la humedad, o en películas compuestas para proporcionar una barrera a la humedad (Krochta, 2002).

1.4. Justificación para el uso de películas biodegradables

Con la finalidad de obtener un recubrimiento que ayude a reemplazar a los productos sintéticos que son elaborados a partir de petróleo, que son productos que afectan al medio ambiente por su composición y la acumulación que estos se generan cada día, como alternativa a las películas plásticas se pueden usar recubrimientos basados en la celulosa que es el más abundante de todos los materiales orgánicos, forma parte de los tejidos fibrosos de

las plantas, está presente en vegetales y otros alimentos. Que por su composición es comestible. Este material se aplica directamente a la superficie de los productos y llegan a formar parte de ellos (Debeaufort et al., 1998).

Por otro lado, existe la necesidad de reducir el empleo de materiales no biodegradables para el envase, porque constituyen un porcentaje importante en la acumulación de desechos sólidos, lo que ha generado una tendencia importante para desarrollar sistemas de atmósfera modificada basados en estos recubrimientos comestibles. Por otro lado, los productores de *sacha inchi* tomaran en cuenta a la torta que se genera en el proceso de obtención del aceite, dando una nueva forma de valor agregado a su subproducto y por lo tanto tener en mente la creación de una forma de negocio en la elaboración de empaques biodegradables para contribuir con minimizar el impacto ambiental que las bolsas plásticas generan en nuestro ambiente.

1.5. Propiedades antimicrobianas de los recubrimientos

Muchos antimicrobianos se proponen para ser utilizados en la formulación de películas y recubrimientos comestibles con el fin de inhibir la flora de deterioro y para disminuir el riesgo de agentes patógenos. Habitualmente se utilizan compuestos generalmente reconocidos como seguros (GRAS) y existe una tendencia a seleccionar los antimicrobianos de fuentes naturales con el fin de satisfacer la demanda de los consumidores por alimentos saludables que sean libres de aditivos químicos. Los antimicrobianos más comúnmente utilizados son los ácidos orgánicos, el polisacárido quitosano, algunos polipéptidos como la nisina, el sistema de la lactoperoxidasa y algunos extractos de plantas y sus aceites esenciales, entre otros. Para la selección de un antimicrobiano, debe ser considerada la eficacia contra el tipo de microorganismo de interés y las posibles interacciones entre los antimicrobianos y otros componentes de los alimentos presentes. Estas interacciones pueden modificar la actividad del antimicrobiano y las características de la matriz siendo estos factores importantes para el desarrollo de las películas y recubrimientos a base de biopolímeros (Campos et al., 2011).

En el desarrollo de matrices comestibles con actividad antimicrobiana, los aceites esenciales de hierbas y especias han sido ampliamente utilizados. Sin embargo, algunas desventajas son su inestabilidad química y reducida solubilidad en agua. En general, los niveles de EOs necesarios para inhibir el crecimiento microbiano son más altos en los alimentos que en los medios de cultivo. Esto es, en parte, debido a las interacciones entre los compuestos activos

y algunos componentes de la matriz de los alimentos como las proteínas y las grasas. Por el contrario, existe información acerca de que la adición de hidratos de carbono parecería no tener efecto sobre la acción inhibitoria de la EOs en caldos de cultivo. Por lo tanto, la incorporación de EOs a formulaciones de matrices comestibles puede ser un método novedoso para mejorar la estabilidad de EOs siempre que se pueda asegurar su biodisponibilidad (Campos et al., 2011).

Se han realizado numerosos estudios para establecer la efectividad de los antimicrobianos en recubrimientos. La elección del método depende del propósito del ensayo, la naturaleza de los antimicrobianos y las características del objetivo que se quiera cumplir, entre otros. El ensayo de difusión en agar o test de zona de inhibición se aplica para comprobar si el componente antimicrobiano está disponible en la matriz comestible para actuar como agente antimicrobiano. En este ensayo, la difusión de los antimicrobianos depende del tamaño, la forma y la polaridad de la molécula que difunde, la composición química de la matriz y el medio receptor. El test de superficie o de barrera es otro ensayo que se realiza con frecuencia y consiste en evaluar el crecimiento de una población microbiana inoculada en la superficie del recubrimiento antimicrobiano en contacto con un medio semisólido que actúa como modelo de un producto alimenticio determinado o, directamente, en contacto con un alimento. Los resultados obtenidos informan la capacidad de barrera frente a una contaminación externa. Para algunas aplicaciones, una rápida liberación de antimicrobianos es necesaria para controlar el crecimiento microbiano en los alimentos. Por el contrario, en otras aplicaciones, se requiere una liberación lenta a fin de asegurar un cierto nivel de retención en superficie como control de la contaminación externa. La determinación de la tasa de liberación junto con la evaluación de la actividad antimicrobiana a través del tiempo ayuda a optimizar el desarrollo de dichos recubrimientos (Campos et al., 2011).

1.6. Plastificante

Guilbert (1986) menciona que el plastificante es un factor muy importante en la formulación de películas comestibles ya que afectan las propiedades mecánicas y la permeabilidad de las películas. Los plastificantes alteran la estructura de las películas, la movilidad de la cadena y los coeficientes de difusión de gases o agua, “de acuerdo con la normativa (ASTM D-883), un plastificante es un material, que se incorpora a un plástico para facilitar su proceso y mejorar su flexibilidad o distensibilidad. La adición de un plastificante puede hacer que disminuya la viscosidad en estado fundido, el módulo de elasticidad, y la temperatura de

transición vítrea de un plástico. La temperatura de transición vítrea (T_g) es la temperatura a la cual un polímero cambia de estado rígido a blando, sobre esta temperatura la movilidad molecular se incrementa y la viscosidad disminuye.”

Los plastificantes son compuestos de baja volatilidad que pueden ser añadidos para impartir flexibilidad a una película polimérica (Kester y Fennema, 1986). Para la formación de películas comestibles muchas veces es necesario agregar un plastificante para mejorar las propiedades mecánicas de las mismas. Los plastificantes usados incluyen glicerol, polietilenglicol, sorbitol y algunos azúcares, entre otros. Debido a que el plastificante modifican las propiedades mecánicas y producen películas más flexibles (Campos et al., 2011). Según Guilbert (1986), los plastificantes que se utilizan en la industria de los alimentos incluyen:

- Monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos (glucosa, jarabes de fructuosa o glucosa, miel).
- Polioles (sorbitol, glicerol, polietilenglicoles y los derivados del glicerol).
- Lípidos y derivados (ácidos grasos, monoacilgliceroles, derivados éster, fosfolípidos y surfactantes).

1.7. Carboximetilcelulosa (CMC)

La celulosa es el polímero más abundante en el mundo, es un homopolímero lineal constituido por moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos altamente polares e β (1-4), insolubles en agua. Para conferirle la solubilidad en agua la celulosa es esterificada con soda cáustica acuosa, y después con cloruro de metilo, óxido de propileno o monocloroacetato de sodio para producir metilcelulosa, carboximetilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa, la carboximetilcelulosa sódica (CMC) debe contener no menos de 6,5 % y no más de 9,5 % de sodio, calculado sobre la sustancia seca. Es una sal soluble en agua. Es el principal éter de celulosa producido industrialmente. En sentido, gracias a su carácter hidrofílico, la alta viscosidad que produce en soluciones, aun a bajas concentraciones como coloide protector y adhesivo, su uso se ha extendido en diferentes industrias (Mora, 2013).

Los plastificantes más utilizados son los polioles y los monos, di y oligosacáridos, entre los polioles más utilizados están el glicerol, el propilenglicol, polietilenglicol 200, polietilenglicol 40 y el sorbitol (Cuq et al., 1998).

Las películas CMC tienen buenas características, ya que no tienen olor ni sabor, son transparentes, resistentes a grasas y aceites, solubles en agua. Adicionalmente son barreras moderadas ante la humedad y el oxígeno (Bourtoom et al., 2006).

Es un agente suspensor y estabilizante, utilizado en capsulas y tabletas como desintegrante y como recubrimiento, incrementa la viscosidad y absorbe agua. Es muy utilizado en formulaciones tópicas y orales, principalmente por el aumento que aporta de la viscosidad y por lo tanto la mayor facilidad de suspender polvos en dichas formulas. A concentraciones de 3-6 % se produce una viscosidad de grado medio, que es la usada para la producción de geles y pastas (Mora, 2013)

Conocida como CMC, se obtiene a partir de celulosa natural por modificación química, es soluble en agua, derivado de éter de celulosa. La CMC ha sido aprobada como aditivo interno alimenticio en la Unión Europea, Estados Unidos y muchos otros países. La toxicología de la CMC ha sido ampliamente evaluada por la FDA. El ADI (consumo diario aceptado) es de 25 mg/Kg de la persona. La CMC tiene la propiedad de no causar sinéresis del agua a temperaturas de congelación, es decir, no existe una separación espontánea del agua debido a la contracción del gel, por lo que se utiliza como estabilizador en alimentos congelados (mezclas de carnes, pescado y vegetales). Mientras el alimento es congelado, el éter de celulosa ayuda a mantener la humedad y evita que los vegetales o las frutas se quemen, además ayuda a estabilizar la solubilidad de jugos de fruta congelados. La habilidad que tiene la CMC para evitar la cristalización es utilizada en la fabricación de helados y productos derivados del azúcar como mieles (Bhat y Bhat, 1997).

1.8. Películas a base de proteínas

La película comestible es una matriz preformada delgada que se aplica directamente al alimento, que puede ser utilizada en forma de recubrimiento o que formará parte de la composición del alimento. Los polímeros naturales como las proteínas ofrecen una gran oportunidad para ser utilizados como materia prima en la elaboración de películas comestibles debido a su biodegradabilidad ya que puede suplementar el valor nutritivo de los alimentos. Por otro lado, le confieren al polímero un amplio rango de propiedades debido al potencial que tienen para formar enlaces intermoleculares (Bourtoom et al., 2009).

La mayoría de las proteínas contienen 100-500 residuos aminoácidos. Dependiendo del orden secuencial de aminoácidos (estructura primaria de las proteínas), la proteína asumirá

diferentes estructuras a lo largo de la cadena polimérica (estructura secundaria de la proteína), basada en enlaces van der Waals, hidrógeno, electrostáticos, hidrofóbicos, e interacciones de reticulación disulfuros entre las unidades de aminoácidos (Cheftel, Cuq, y Lorient, 1985). La estructura terciaria refleja cómo la estructura secundaria se organiza respecto a otra cadena polipeptídica, basada en los mismos tipos de interacciones, para formar estructuras globulares, fibrosas o aleatorias. Por último, las estructuras cuaternarias se producen cuando proteínas enteras interactúan con otras en asociaciones para proveer estructuras únicas o una determinada actividad biológica, las estructuras secundarias, terciarias y cuaternarias de las proteínas pueden ser modificadas por varios agentes físicos y químicos, incluyendo calor, tratamiento mecánico, presión, irradiación, interfaces de lípidos, ácidos y álcalis, e iones metálicos (Cheftel, Cuq, y Lorient, 1985). Tales agentes son a menudo usados en la formación de películas y coberturas para optimizar la configuración proteica, las interacciones y las propiedades de las películas (Krochta, 2002).

1.9. Torta de sachá inchic

Brioso (2007), indica que la torta de sachá inchic (*Plukenetia volubilis* L.) obtenida como residuo después de la extracción de aceite de la semilla oleaginosa de esta planta, por su alto valor proteico de 59.13% y grasa de 6.93% que puede utilizarse en diferentes procesos como la obtención de biopelículas e insumo de alto valor proteico en la ración de animales. Como un subproducto del proceso de extracción del aceite se genera la “torta”, la cual posee un elevado contenido de proteína y de aceite (Hamaker et.al., 1992), pero este subproducto no se ha evaluado para ningún tipo de aprovechamiento sostenible.

Según Cheftel y Cheftel (1980) la extracción del aceite se efectúa, mediante presión, seguida en algunos casos de un disolvente. No obstante, dada la diversidad de materias primas vegetales, la extracción suele ir precedida de distintos tratamientos mecánicos, para eliminar materias extrañas o conseguir el descascaro y rotura. En ciertos casos antes o después del triturado, se aplica un tratamiento con vapor (15 a 90 mm a 70 – 130 °C), pues tiene la ventaja de hacer estallar las células, con lo que el aceite se libera más fácilmente y se destruyen algunas sustancias indeseables, como el gósipol, presente en las semillas de algodón, así aumenta el rendimiento, pero la calidad desciende.

La torta es un subproducto resultante de la trituración de las semillas para obtener aceite comestible, representa una importante fuente de proteínas, especialmente por las

características nutricionales y funcionales que puede aportar a los alimentos (Kinsella, 1976). El sistema de fabricación que se emplea para facilitar la separación del aceite en las semillas requiere el uso del vapor indirecto (alta temperatura) y la fricción de la prensa continua durante el proceso. El proceso a elevada temperatura utiliza prensas continuas para extraer el aceite de las semillas debidamente acondicionadas (rotura y laminación previa), produciendo tortas que con un contenido residual de aceite entre el 8 – 10 % (Cheftel y Cheftel, 1980).

La extracción del aceite de granos oleaginosos se realiza por aplicación de presión o por disolventes, generándose subproductos que conservan cualidades nutricionales del grano, aspecto que han corroborado diferentes autores para la torta residual de sachá inchic, dependiendo del método de extracción del aceite cambia el tamaño de partícula y forma de la torta. En ocasiones los subproductos son aprovechados como insumo para la industria alimentaria o de concentrados para animales (Betancourth, 2013, Mondragón, 2009, Antonioli y Arfini, 2013.), en otros casos se considera un residuo y se desecha (Mondragón, 2009).

Pascual y Mejía (2000) determinaron un alto porcentaje de proteínas un 59,13 % en la torta del sachá inchic proveniente de Pucallpa; Mondragón (2009) determinó un 34,26 % de proteína, proveniente de San Martín, en la torta de la semilla proveniente de San Martín. En la tabla 5 se presenta la composición proximal de la torta del sachá inchic, reportados por los autores citados.

Tabla 5

Composición química proximal de la torta del sachá inchic (%).

Componentes	Pascual y Mejia (2000)	Mondragón (2009)
Proteína	59,13	34,26
Grasa	6,93	37,33
Fibra	17,30	3,16
Cenizas	8,72	3,24
Humedad	0,70	5,09

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La ejecución del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de: Investigación, Análisis de Productos Agroindustriales, Tecnología de Productos Agroindustriales no Alimentarios Ingeniería y Diseño de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la UNSM-T, Ciudad Universitaria, Morales, Provincia y Región de San Martín.

2.2. Materiales

2.2.1. Materia prima

La materia prima la conforma el Aislado proteico de Sacha Inchi obtenido a partir de la torta de Sacha Inchi, procedente de la extracción de aceite extra virgen de la Empresa Shanantina SAC. Ubicada en el distrito de Lamas, Provincia de Lamas y Departamento de San Martín.

2.2.2. Instrumentos y equipos

1. Cocina eléctrica con agitador magnético (Marca NUOVA Modelo SP 18420 -26)
2. Agitador magnético (Marca CAT Modelo M5)
3. Agitador de paleta (Marca CAT Modelo R14)
4. Refrigeradora (Marca SAMSUNG Modelo RS21HKLMR1/SAM)
5. Estufa y Secador convectivo (Marca POL-EKO Modelo SLW115STD)
6. Termómetro digital rango de -50 -300°C (Marca BOECO)
7. Balanza Analítica de precisión (Marca AND Modelo GH-200)
8. Medidor de Actividad de Agua (Marca ROTRONIC Modelo HP23-AWA)
9. Balanza Analítica gramera (Marca VIBRA SJP Modelo SJP-4200E).
10. Centrífuga (Marca BOECO Modelo C-28A)
11. Molino de discos (Marca Qingdao Dahua Modelo FFC-23)
12. Micrómetro digital (Marca Mitutoyo Modelo MDC-25L)
13. Phmetro (Marca Metrohm Modelo 827 pH lab)
14. Baño María con Agitador (Marca MEMMERT)
15. Vapómetro (Marca Thwing-Albert)

16. Colorímetro tri-estímulo (Marca Konica Minolta Modelo CR-400)
17. Estufa de Convección Natural (Marca FRAVILL Modelo ED 080)
18. Liofilizador (Marca LABCONCO Modelo FreeZone 6 Plus)
19. Texturómetro (Marca Brookfield, Modelo CT3 Texture Analyzer).

2.2.3. Materiales de laboratorio

1. Vasos de Precipitado de 50-500 ml
2. Pipetas de 100-1000 μ L (Marca BOECO Modelo SP)
3. Pipeta Transferpette de 0,5 – 5 ml (Marca BRAND)
4. Fiolas
5. Probetas.
6. Matraces.
7. Campanas de vidrio.
8. Set de Tamizadores ASTM.

2.2.4. Reactivos

1. Hidróxido de Sodio (Marca MERCK MILLIPORE CAS 1310-73-2)
2. Ácido Clorhídrico (CAS 7467-01-0)
3. Sorbitol (Marca MERCK MILLIPORE CAS 50-70-4)
4. Agua destilada
5. Sílica Gel Indicador Azul 6-16 mesh (Marca SPECTRUM CAS 1393-98-2)
6. Cloruro de Potasio (Marca MERCK MILLIPORE CAS 7447-40-7)
7. Nitrato de Magnesio Hexahidrato (Marca MERCK MILLIPORE CAS 13446-18-9)

2.3. Metodología

2.3.1. Obtención de aislado proteico de sachá inchic liofilizado

Según la metodología seguida por González (2017), el aislado proteico de Sachá Inchic fue preparado utilizando el pH que produjo el mayor rendimiento de extracción de proteína.

Para la obtención del aislado proteico de sachá inchic se empleó torta de sachá inchic peletizada, subproducto del proceso de extracción de aceite de la empresa Shanantina. La torta se molió en un molino de martillo para reducir el tamaño de partícula y facilitar la

extracción de proteína. A continuación, se tamizó la torta molida en un sistema de tamices ASTM para homogenizar el tamaño de partícula de la muestra; seleccionando la que queda retenida entre los tamices de abertura de malla de 425 a 180 μm . Con la ayuda de un agitador de paletas se mezcló la torta molida con agua destilada en un vaso de precipitado; siendo la relación torta: agua utilizada de 1:10. En seguida se ajustó el pH de la mezcla a 12 con una solución de NaOH a 2,5N y se dejó solubilizar bajo agitación constante durante 60 minutos. Después, la mezcla se llevó a tubos para centrifugarse a 6000 rpm por 5 min. El sobrenadante obtenido se llevó a un vaso de precipitado y bajo agitación, con un agitador de paletas, se llevó hasta el punto isoeléctrico de las proteínas pH 4,5 con una solución de HCl a 2 N. Llegado al punto isoeléctrico se detuvo la agitación y la mezcla se dejó en reposo durante 15 minutos para permitir la agregación de las proteínas. Luego la mezcla se llevó a tubos para centrifugarla a 6000 rpm por 5 minutos. El pellet formado en el fondo de los tubos, tras la operación de centrifugación, considerado como aislado proteico de sachá inchi (APSI), se recuperó con la ayuda de pequeñas espátulas de acero inoxidable y fueron colocadas dentro de un vaso de precipitado.

En seguida se agregó agua destilada y bajo agitación constante, se ajustó el pH de la suspensión hasta 9. Se detuvo la agitación y el contenido del vaso de precipitado se llevó a moldes de cubo de 2X7 (10 ml en cada cubo), con la ayuda de una pipeta transferpette de 5 ml. Luego estos moldes se colocaron dentro de una congeladora durante 6 horas hasta lograr que la temperatura de la suspensión llegue a -25°C . Alcanzada esta temperatura, los moldes se retiró de la congeladora y la suspensión congelada se desmoldó, obteniéndose pequeños bloques de suspensión congelada. Rápidamente éstos se colocaron dentro de vasos de liofilización de tal manera que se encuentren formando un lecho dentro de cada vaso. En seguida, los vasos se colocaron en la congeladora por 30 minutos para permitir que la suspensión alcance los -25°C . Transcurrido este tiempo, los vasos se acoplo al equipo liofilizador donde se llevó acabo la deshidratación del aislado proteico de sachá inchi bajo condiciones de presión y temperatura de 5 Pa y -85°C , respectivamente, durante 24 horas. En la figura 3 se presenta el flujograma para la obtención de aislado proteico de sachá inchi liofilizado a partir de la torta que se obtiene como subproducto en la extracción de aceite de sachá inchi.

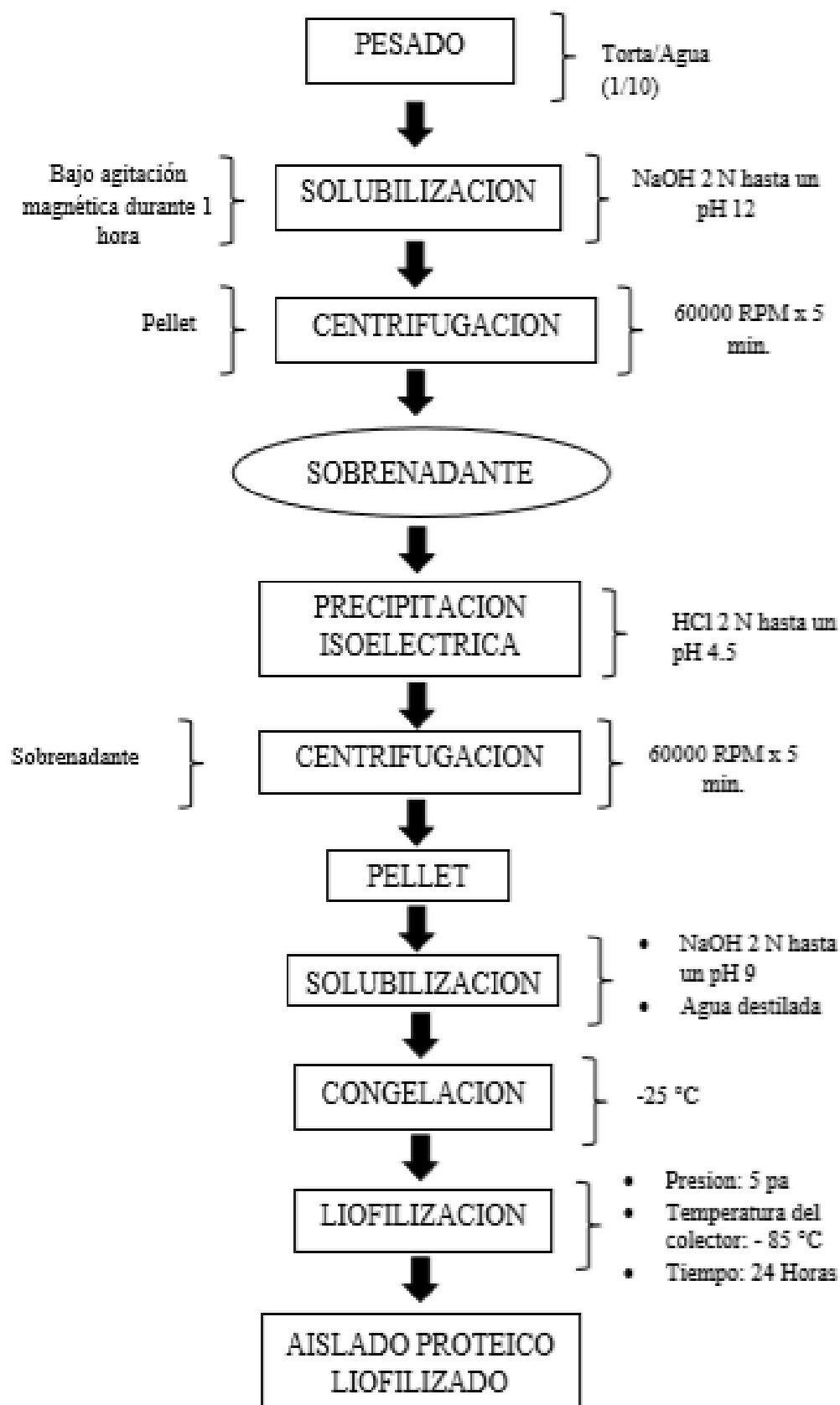


Figura 3: Diagrama de flujo para la obtención de aislado proteico de sachá inchic a partir de la torta. (Fuente. Adaptado de González - 2017)

2.3.2. Elaboración de la solución filmogénica y películas biodegradables

Según la metodología seguida por Chambi y Grosso (2011) y González (2017), se prepararon películas, adicionando CMC para mejorar propiedades físico-mecánicas de las biopelículas de aislado proteico de sachá inchi (APSI).

Para empezar, se preparó una solución filmogénica utilizando APSI/CMC (0/100, 5/95, 10/90, 15/85 y 20/80 p/p) suministrando sorbitol como plastificante (1.6%), llegando a la proporción requerida de agua para completar 100 gramos de solución filmogénica, el CMC se mezcló con agua destilada a 90 °C por 30 minutos para obtener una solución uniforme.

El pH de la suspensión se ajustó a 11 con una solución de NaOH a 2 N. Luego se calentó hasta aproximadamente 70°C en Baño María. Para el tratamiento térmico de la solución filmogénica se empleó una cocina eléctrica con un agitador magnético, realizándose a 85°C por 60 minutos.

Transcurrido este tiempo, la solución filmogénica fue transferida a placas Petri de vidrio de aproximadamente 165 cm² de superficie pesando en cada placa 35 gramos de solución filmogénica, las cuales se llevó a un secador convectivo, donde se secó a 45 °C por 24 horas, formándose las películas biodegradables (casting). Después las placas se colocaron dentro de campanas de vidrio con solución sobresaturada de cloruro de potasio (KCl), por 24 horas a 80 % HR para permitir que las películas se hidraten y se desprendan de la placa.

Antes de ser sometidas a la evaluación de sus propiedades físicas las películas fueron almacenadas en campanas de vidrio conteniendo una solución sobresaturada de nitrato de magnesio hexahidratado ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), por un tiempo de 24 horas a 54 % HR.

En la figura 4 se presenta el flujograma para la obtención de las películas biodegradables.

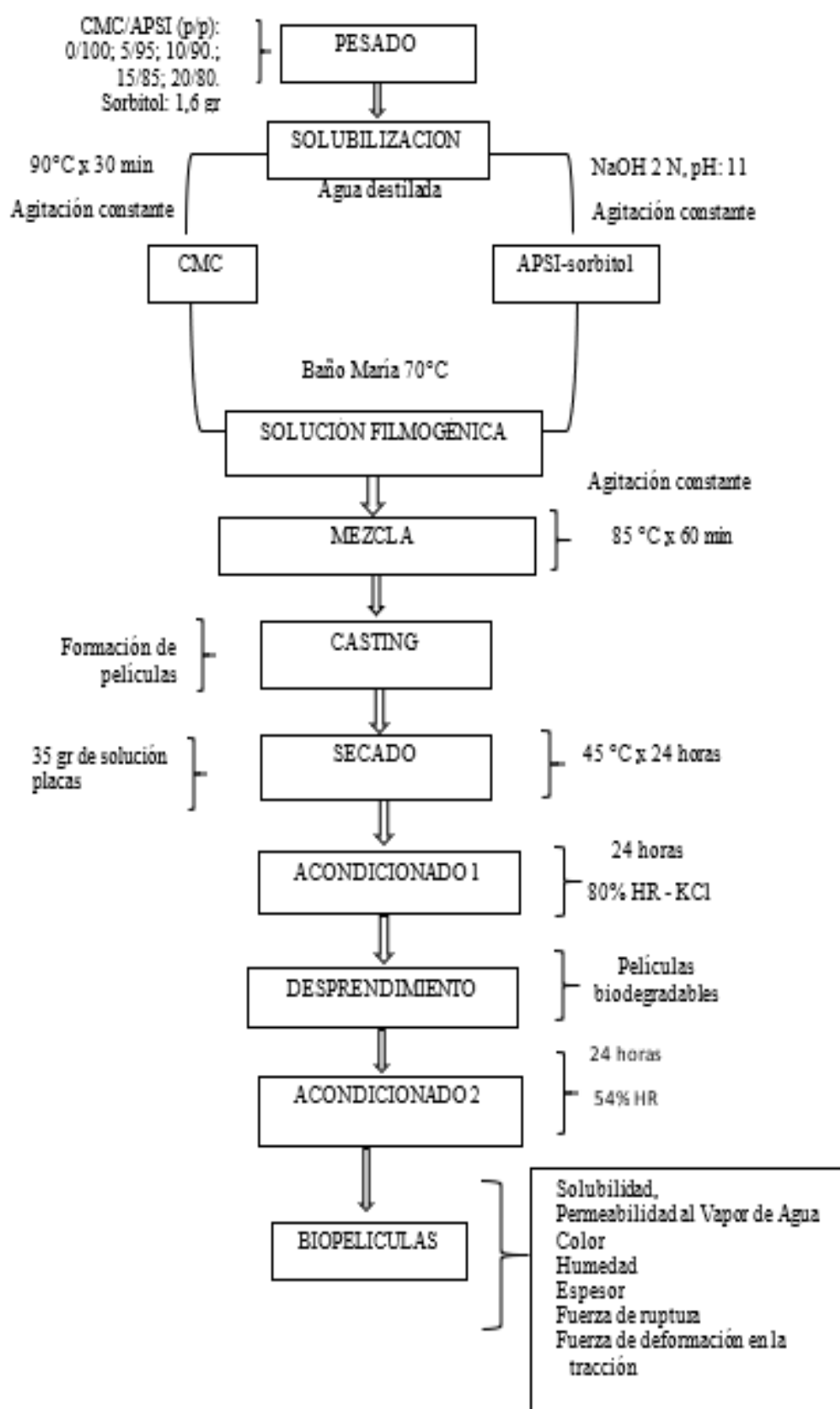


Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de la película biodegradable. (Fuente. Elaboración propia)

2.3.3. Caracterización del aislado proteico de sachá inchic (APSI)

Análisis composicional del aislado proteico de Sachá Inchic se realizaron de acuerdo con los métodos oficiales descritos por la AOAC (1995), la metodología empleada es la siguiente:

Tabla 6

Métodos para el análisis composicional del aislado proteico de sachá inchic (APSI)

DETERMINACIÓN			MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Humedad			AOAC 935.29 (AOAC International, 1998).	Deshidratación: Dsecación a 100-105°C en estufa a presión constante hasta peso constante por 24 horas
Proteínas			AOAC 991.20 (AOAC International, 1998)	Kjeldahl: Digestión acida y destilación de nitrógeno
Extracto	Etéreo	(Grasa cruda)	AOAC 920.39 (AOAC International, 1998)	Extracción Soxhlet, por 4 horas
Cenizas Totales			AOAC 923.03 (AOAC International, 1998)	Calcinación a 550°C, por 4 horas

Fuente: Elaboración propia

2.4. Evaluación de las propiedades físicas

Los diferentes análisis físicos (Contenido de humedad, color, espesor, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad) fue realizado mediante metodologías validadas y recomendadas en la literatura científica.

Contenido de humedad (CH)

Las humedades de las muestras se determinaron por el porcentaje de peso perdido durante el secado, en una estufa a 105°C por 24 horas, de muestras de 2 cm de diámetro pesadas ($\pm 0,0001$ g) en placas de vidrio, de acuerdo al método de (Rhim, 1998). Las mediciones del contenido de humedad fueron hechas por triplicadas y reportadas en base húmeda.

Solubilidad

Muestras de 2 cm de diámetro fueron pesadas y sumergidas en un vaso conteniendo 100 ml de agua destilada a 23 ± 2 °C, sellado, y agitado a 120 oscilaciones por minuto (opm) por 3 h en un agitador de vaivén conteniendo agua a temperatura constante de 25°C. Las películas no solubilizadas en agua fueron removidas y secadas para determinar el peso de la materia seca existente. La cantidad de materia seca inicial y final en las muestras se determinaron en

una estufa a 105°C por 24 horas. Las pruebas se realizaron por triplicado. Los resultados fueron expresados como la cantidad de materia soluble total por 100 g de película (Aydemir et al., 2014), (Handa et al., 1999).

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Las permeabilidades al vapor de agua se determinaron usando el método ASTM E 96-95 (ASTM, 2000) con algunas modificaciones (Salgado et al., 2010). Cada muestra de película fue sellada sobre una abertura circular de 0,003167 m² en un vapómetro (Thwing Albert-Instrument, USA) que se colocó a 24 °C dentro de un desecador. Para mantener una gradiente de humedad relativa de 100% a través de la película, se colocó agua destilada (100% HRd) dentro del vapómetro y sílica anhidra (0% HRv) en el desecador. La HR dentro del vapómetro fue más baja que en los exteriores, y la transferencia del vapor de agua fue determinado a partir del peso perdido por el vapómetro. Cuando las condiciones estacionarias fueron alcanzadas (en 1 hora), ocho mediciones del peso fueron hechas a lo largo de 5 horas. Los cambios en el peso del vapómetro se registraron y graficaron en función al tiempo. La pendiente de cada línea fue calculada por regresión lineal (Statgraphics Centurion XV) y la velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA) fueron calculados a partir de la pendiente (g H₂O/s). La Pva (g H₂O/Pa.s.m) se calcularon como: donde P_{vH_2O} = presión de vapor del agua a saturación (3003.68 Pa) a la temperatura del ensayo (24 °C). HR_d = HR en el desecador, HR_v = HR en el vapómetro, A = área de permeación y d = espesor de la película (m). Cada valor de Pva representará el valor promedio de dos repeticiones de cada tratamiento



Figura 5. Vapómetro (Thwing Albert-Instrument, USA)

Color

El color de las películas se determinó usando un colorímetro tri-estímulo (Chromameter tipo CR-400, Minolta Sensing Osaka, Japón), con iluminante D65, ángulo de visión de 10° y una celda de medida con una abertura de 30 mm, se utilizó los parámetros de color CIELab: L* (Luminosidad), desde negro (0) hasta blanco (100); a* (Componente verde-rojo), desde verde (-) hasta rojo (+); y b* (Componente azul-amarillo), desde azul (-) hasta amarillo (+). (Gennadios et al., 1996), (Paschoalick et al., 2003). Para medir el color de las películas, éstas se colocaron encima de la superficie de un plato blanco estándar. Los colores de las películas se expresaron como la diferencia de color (ΔE^*)

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde ΔL^* , Δa^* y Δb^* son los diferenciales entre los parámetros de color de las muestras y los parámetros de color del blanco estándar.

El color del APSI liofilizado también se determinó utilizando el mismo colorímetro, pero en este caso, el polvo fue puesto en un accesorio para material granulado (Paschoalick et al., 2003)



Figura 6. colorímetro tri-estímulo (Chromameter tipo CR-400, Minolta Sensing Osaka, Japón).

Espesor (mm)

El grosor de la película fue medido usando un micrómetro digital (MITUTOYO, Japón) con 0-25 mm de amplitud y graduación de 0,001 mm. El grosor final fue el promedio de 3 mediciones hechas alrededor del perímetro y una en el centro. La permeabilidad al vapor de agua se calculó usando el grosor promedio de cada película replicada (Martelli et al., 2006)



Figura 7. Micrómetro digital (Marca MITUTOYO, JAPON)

2.5. Evaluación de propiedades mecánicas

En las propiedades mecánicas se determinó el esfuerzo máximo a la ruptura (MPa), el módulo de Young (MPa) y el porcentaje de elongación (%) de las películas. Estas se realizaron de acuerdo con el estándar ASTM, D-882 (ASTM, 1993) se utilizó un analizador de textura (Modelo CT3 Texture Analyzer, Marca Brookfield, Canadá). Las muestras de película se equilibraron en un desecador que contenga MgNO_3 ($52 \pm 2\%$ de HR) a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 48 h.

Porcentaje de elongación y Módulo de Young

Se cortaron tiras rectangulares de 20 mm de ancho por 100 mm de largo que fueron rotuladas para luego realizar la medición de espesor en los extremos y uno en el centro, utilizando un micrómetro digital. Las muestras se sujetaron con los accesorios del Texturómetro Brookfield a una distancia de 50mm entre quijadas. El ensayo se ejecutó a una velocidad de cabezal de 0,8 mm/s hasta que la muestra se rompa.

$$\text{Resistencia a la tensión} \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) = \frac{\text{fuerza máxima de rotura}}{\text{sección transversal}}$$

$$\text{Elongación (\%)} = \frac{\text{longitud máxima}}{\text{separacion inicial}} \times 100$$

$$\text{Módulo de Young} = \frac{\text{resistencia a la tension}}{\% \text{ elongacion}} \times 100$$

Fuerza de Perforacion (N)

Consiste en determinar la fuerza (N) que requiere un material para romperse. Se cortaron muestras rectangulares de 40 mm de largo y 25 mm de ancho. Las películas fueron fijadas en una celda de 46 mm de diámetro y perforadas con una probeta de 3 mm de diámetro a una velocidad de 1 mm/s, basado en especificaciones del fabricante del Texturómetro ya mencionado.

Las curvas tensión-deformación se analizaron utilizando el software del analizador de texturas (Modelo CT3 Texture Analyzer, Marca Brookfield, Canadá). Las pruebas mecánicas se realizaron por lo menos cinco veces para cada película.



Figura 8. Texturómetro Brookfield Model CT3 – USA.

2.6. Diseño experimental

Para evaluar la influencia del CMC en las biopelículas de a base de APSI en las propiedades físicas - mecánicas se realizó un diseño completamente al azar (DCA), 5 tratamientos con 3 repeticiones, totalizando 15 ensayos.

La variable independiente es la relación CMC/APSI (0/100, 5/95, 10/90, 15/85 y 20/80 p/p). Las variables dependientes son: color, humedad, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad, fuerza a la ruptura y fuerza de deformación en la tracción. Según González (2017), la proporción 1.6 % de sorbitol fue la que dio mejores resultados en la investigación. Los ensayos se realizaron a base de 100 gramos de solución filmogénica (SF), que contiene 7 % de macromoléculas (CMC + APSI). Los datos propuestos en el diseño experimental fueron planteados teniendo como referencia investigaciones realizadas por González (2017), Silva et al. (2008) y estudios previos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Composición química del aislado proteico de sachá inchic (APSI)

La composición proximal del Aislado Proteico de Sachá Inchic cuenta con un contenido proteico de $84,773 \pm 0,558$ que son resultados un tanto inferior a lo mencionado por Jorge (Mercado et al., 2012), que fue de un $92,15 \pm 0,04$ %, mientras Keny A. Quiroz (2014) fue de un 94.2 % de contenido de proteínas. La variación en los resultados puede ser debido a la procedencia de la materia prima y el método de extracción de APSI; en la tabla 7 los siguientes resultados:

Tabla 7

Composición química del aislado proteico de sachá inchic (APSI)

Componentes	%
Humedad	$3,441 \pm 0,233$
Proteína	$84,773 \pm 0,558$
Grasa	$4,8 \pm 0,135$
Ceniza	$4,996 \pm 0,128$
Carbohidratos	$1,990 \pm 0,806$

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Diseño experimental completo

Tabla 8

Matriz de experimentos del diseño completamente al azar con los valores de los factores y respuestas de sus propiedades físicas (color, grosor, humedad, solubilidad permeabilidad al vapor de agua), y propiedades mecánicas (elongación y perforación)

CMC %	Color				Humedad	Solubilidad (%)	Grosor (mm)	PVA ($10^{-12} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$)	Elongación (%)	Módulo de Young (N/mm ²)	Perforación (N)
	ΔE^*	L^*	a^*	b^*	(%)						
0	75.405±0.19	92.167±0.757	-0.67±0.02	7.6±1.93	15.955±0.53	55.523±3.97	0.158±0.03	3.853±0.02	6.733±0.45	71.772±4.01	14.617±0.51
5	74.306±1.92	89.200±0.794	-0.65±0.95	7.818±4.4	15.61±0.28	54.231±1.68	0.158±0.01	3.815±0.43	7.733±0.40	61.588±9.61	13.906±0.31
10	70.33±0.80	85.933±1.041	0.008±0.32	7.474±2.58	16.132±0.51	50.665±3.77	0.17±0.01	3.577±0.06	8.433±0.35	52.223±1.17	13.327±0.16
15	66.964±4.77	83.933±0.586	-1.14±0.1	15.384±3.33	16.278±0.34	38.383±3.35	0.156±0.002	3.721±0.1	9.9±0.27	46.574±2.12	13.207±0.04
20	59.54±0.51	80.800±0.781	-1.169±0.05	17.19±0.86	16.021±0.14	31.399±3.92	0.167±0.03	3.059±0.37	11.333±0.84	36.746±2.53	13.418±0.01

Fuente: Elaboración propia

3.3. Color

Las diferentes películas elaboradas a partir de aislado proteico de sachá inchi con concentraciones diferentes de CMC presentaron un cambio de coloración significativo de amarillo a blanquecino. En la tabla 9 se muestra los diferentes colores de las películas en escala decreciente a la intensidad de variación de color. Estos colores están basados en la gráfica de color CIELAB y se analizó empleando el software online “EasyRGB” (Logicol et al., 2014).

También se encontraron estudios en cuanto al parámetro de color en películas de aislado proteico de soya y gelatina de bacalao (*Gadus morhua*) (Denavi et al., 2009), gelatina de piel de halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) (Carvalho et al., 2008), proteínas de músculo de tilapia de Nilo variedad Thai (Sobral et al., 2005), proteínas de músculo de tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Paschoalic et al., 2003), concentrado proteico de ricino (*Ricinus communis* L.); (Makishi, et al., 2013); (Lee y Min, 2013), gelatina (Vanin et al., 2005), clara de huevo (Gennadios, et al., 1996).

Tabla 9

Diferencia de color E^ de las películas producidas en escala decreciente de su diferencia de color.*

Tratamientos	%APSI	%CMC	ΔE^*
1	7	0	75.405 ± 0.185
2	6.65	5	74.306 ± 1.917
3	6.3	10	70.33 ± 0.797
4	5.95	15	66.96 ± 4.774
5	5.6	20	59.54 ± 0.508

Fuente: Elaboración propia

3.4. Diferencia de color (ΔE^*)

Los valores de Diferencia de Color (ΔE^*) de las películas elaboradas en esta investigación se encuentran en el rango de 59.54 ± 0.508 a 75.405 ± 0.185 . No obstante, se compararon los valores con los obtenidos en otros estudios similares y se describen de la siguiente manera. Según Ciannamea et al. (2014) para películas de origen vegetal los valores obtenidos por el proceso Casting Concentrado Proteico de Soya 0,3 (Glicerol/Concentrado Proteico de

Soya) para el rango de Grosor y ΔE^* presentó de $143 \pm 22 \mu\text{m}$ y $21,3 \pm 2,9$ respectivamente. Según Lee y Min (2013) para Películas de Origen Vegetal los valores obtenidos por el proceso Casting Harina de soya desgrasada (Harina de Soya Desgrasada) - 0,3 (Glicerol/Harina de Soya Desgrasada) para el rango de Grosor y ΔE^* son de $100 \pm 30 \mu\text{m}$ y $27,8 \pm 1,6$ respectivamente. Según Makishi et al. (2013) para películas de origen vegetal los valores obtenidos por el proceso Casting Concentrado Proteico de Ricino -Glioxal - 0,25 (Glicerol /Concentrado Proteico de Ricino) para el rango de Grosor y ΔE^* son de $116-126 \mu\text{m}$ y $42-48$ respectivamente. Según Linarez (2015) para Películas de Origen Vegetal los valores obtenidos por el proceso Casting Aislado Proteico de Sacha Inchi - 0,31 (Glicerol/Aislado Proteico de Sacha Inchi) para el rango de Grosor y ΔE^* son de $92,0 \pm 2,83 \mu\text{m}$ y $13,47 \pm 0,91$ respectivamente. Según Vanin et al. (2005) para películas de origen animal los valores obtenidos por el proceso Casting Gelatina - 0,30 (Glicerol/Gelatina) para el rango de Grosor y ΔE^* son de $77 \pm 4 \mu\text{m}$ y $2,93 \pm 0,03$ respectivamente. Según Muñoz et al. (2012) para Películas de Origen Animal los valores obtenidos por el proceso Casting Mucilago de Chía: Concentrado Proteico de Lactosuero (1:3) - 0,5 (Glicerol/Concentrado Proteico de Lactosuero) para el rango de Grosor y ΔE^* son de $90-110 \mu\text{m}$ y $14,78 \pm 0,84$ respectivamente.

Dados los resultados observados de las investigaciones anteriores se puede verificar que la diferencia de color (ΔE^*) tuvo un valor mucho mayor a las películas elaboradas de gelatina (GE), mucho menor a las elaboradas de concentrado proteico de soya (CPS), y harina de soya desgrasada (HSD), pero que guardan similitud a las elaboradas a base de Mucilago de Chía (MC) - Concentrado proteico de lactosuero (CPLS).

Al momento de realizar el análisis del comportamiento de ΔE^* dados sus parámetros componentes (L^* , a^* y b^*), es probable sugerir que el comportamiento de ΔE^* se debió principalmente a la variación del parámetro b^* , aunque realmente y fuera de los parámetros es el %CMC el que le aporta mayor variabilidad colorativa a la muestra.

En la tabla 9 se puede observar el comportamiento de ΔE^* frente a la concentración de CMC. A medida que la concentración de CMC disminuye, el incremento de ΔE^* tiende a disminuir hasta llegar un punto en el que este decremento es casi constante. En contraste, a medida que la concentración del %CMC aumenta, el decremento de ΔE^* es cada vez mayor hasta llegar a un punto en el que este decremento es casi constante.

Generalmente, la diferencia de color decrece con el incremento de la concentración de sorbitol (Paschoalick et al., 2003); (Vanin et al., 2005), (Sobral et al., 2005), (Ramos et al., 2013), (Lee y Min, 2013), debido a un efecto de dilución de las proteínas dado que el sorbitol es una sustancia incolora cuando está como solución. Esto implica que a medida que la concentración de sorbitol se incrementa, la película debería presentar menor coloración de tal manera que la diferencia de color presentará una tendencia hacia a cero (Paschoalick et al., 2003).

3.5. Claridad (L*)

Los valores de claridad (L*) de las películas elaboradas en esta investigación cuyos datos dieron como resultados están en un rango de $80,80 \pm 0,781$ a $92,167 \pm 0,757$

Por otro lado, el ANOVA (tabla 12) para la claridad (L*) pone de manifiesto que la concentración de APSI y carboximetilcelulosa ejercieron influencia significativa sobre la claridad de las películas ($P < 0,05$).

En la figura 9 se observa que en el comportamiento de claridad (L*) frente al aumento de las concentraciones de carboximetilcelulosa y APSI el cual evidencia una clara tendencia hacia el descenso de la claridad. En cuanto se incrementa la concentración de CMC de las películas cada vez son más blanquecinas u opacas. Cabe mencionar que independientemente al APSI que al realizar el tratamiento agregando CMC (5 %) el cambio es evidente produciendo colores más blanquecinos.

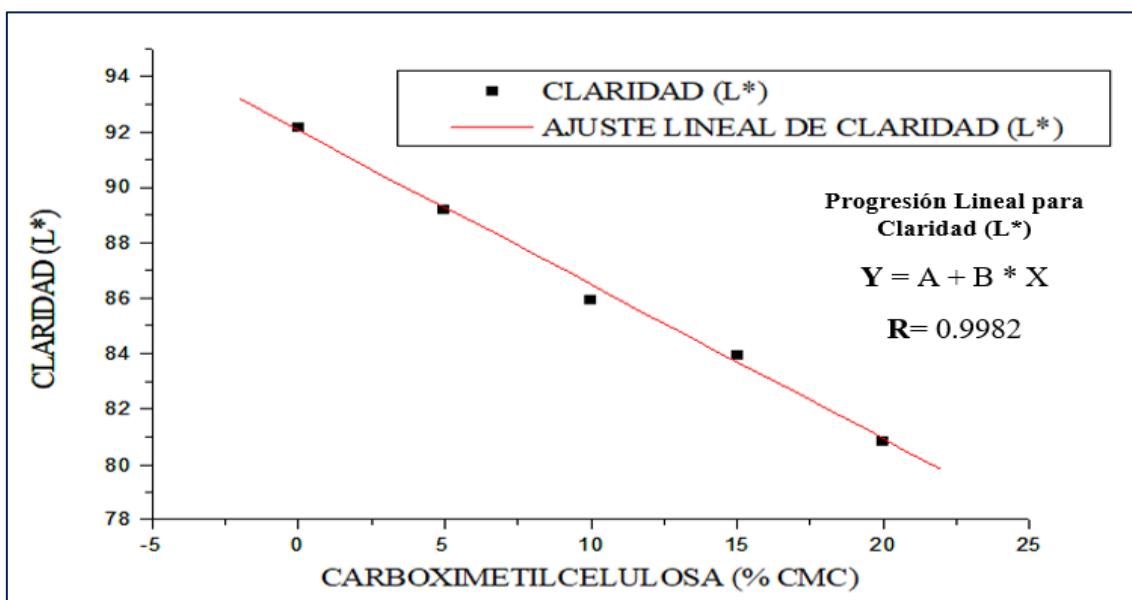


Figura 9. Claridad (L*) en función de la concentración de carboximetilcelulosa CMC (%)

En la figura 9 muestra que a partir de un 10% de CMC la claridad en las películas sufre variaciones y a medida que se incrementa la concentración de CMC la claridad desciende linealmente. La gráfica se ajustó mejor a un modelo polinomial con un coeficiente de regresión de $R^2 = 99.82\%$ lo que significa que el grado de ajuste es el indicado.

Según González – Cuello et al. (2017) una mayor concentración de goma gelana de bajo acilo (GBA) disminuye la transparencia de las BP a base de goma xantana (GX) y CMC debido al incremento de las reacciones de entrecruzamiento ocasionadas por la presencia de cationes (iones calcio) con los grupos carboxilos disponibles en las hélices de GBA. La disminución de la claridad y el aumento de la concentración de CMC fue evidentemente notoria, desde el tratamiento de 5% de CMC las películas sufrieron cambios y la disminución de la claridad cada vez era mayor, por consecuencia las películas se ponían más blanquecinas.

3.6. Verde - Rojo (a^*)

En cuanto a Verde - Rojo las películas dieron como valores de Verde - Rojo (a^*) que se encuentran en el rango de -1.169 ± 0.048 a 0.008 ± 0.319 . En general, los valores obtenidos para el parámetro a^* resultaron con tendencia decreciente (excepto para el tratamiento con 10% CMC), además que todos los valores se encuentran cercanos a cero se puede afirmar que la tonalidad de las películas no presenta tonalidades concentradas para Verde ni Rojo.

El análisis de varianza ANOVA (tabla 15) para Verde - Rojo (a^*) pone de manifiesto que la relación de la concentración de carboximetilcelulosa de las películas de APSI-sorbitol no ejercen influencia significativa sobre el Verde - Rojo de las películas ($P < 0,05$). Lo que significa que las películas compuestas por carboximetilcelulosa y APSI no poseen tonalidad rojiza o verdosa. Lo que significó que tanto ni la concentración de carboximetilcelulosa y ni la concentración de APSI no influyen en los parámetros de color (a^*). Resultado similar a los obtenidos para películas de gelatina (Park et al., 2008), gelatina de bacalao-APS (Denavi et al., 2009), Concentrado Proteico de Ricino -glioxal (Makishi et al., 2013) y Concentrado Proteico de Soya (Ciannamea et al., 2014). No obstante, para películas de HSD-Sistema lactoperoxidasa (Lee y Min, 2013) se observó que un aumento en la concentración de glicerol disminuye el parámetro a^* .

En figura 10, muestra el comportamiento del parámetro de Verde – Rojo de las películas frente a la concentración de CMC. La gráfica se ajustó mejor a un modelo polinomial de segundo grado con un coeficiente de regresión de $R^2 = 98.40\%$, lo cual significa que el modelo es altamente predictivo.

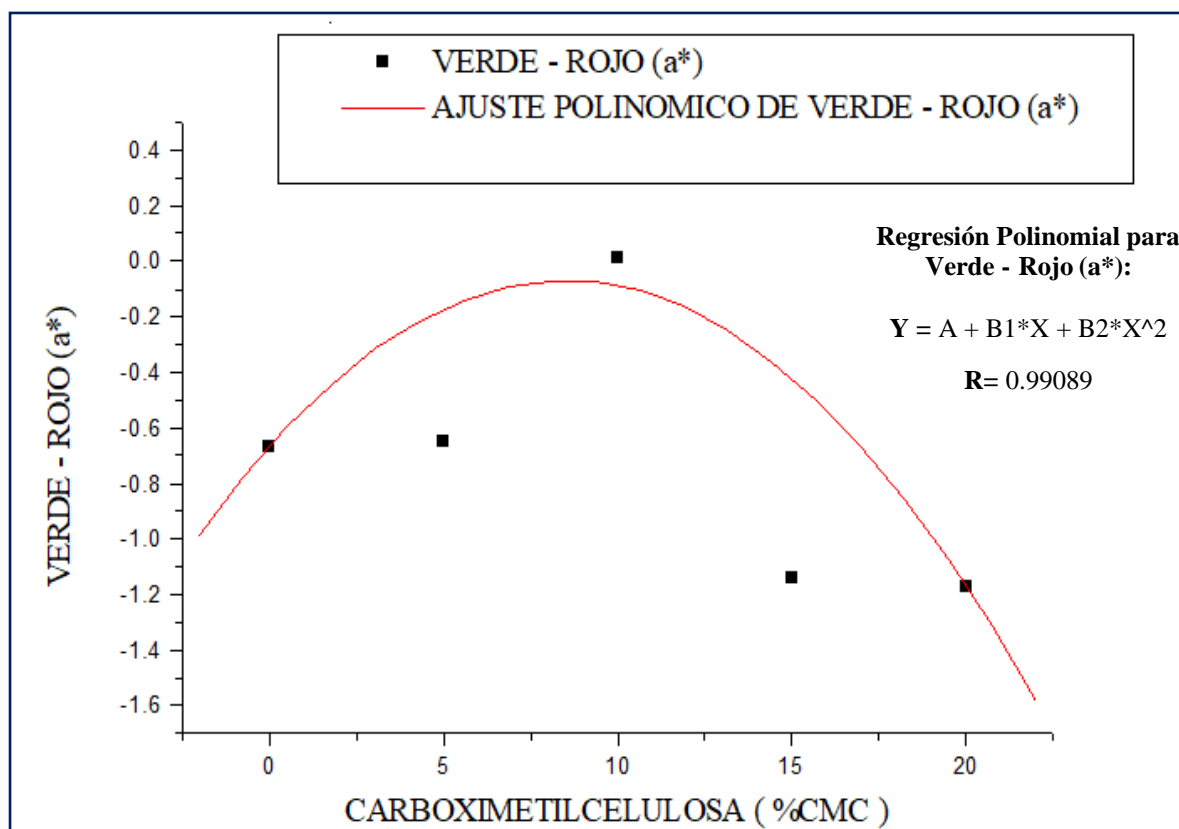


Figura 10. Verde - Rojo (a^*) en función de la concentración de carboximetilcelulosa CMC (%).

3.7. Azul – Amarillo (b^*)

Los valores de Azul – Amarillo (b^*) de las películas elaboradas en este trabajo se encuentran en el rango de 7.474 ± 2.576 a 17.190 ± 0.859 , todos los valores obtenidos para el parámetro de azul – amarillo resultaron positivos y lejanos al cero, en consecuencia, el color de las películas tiende hacia tonalidades amarillas. Estos resultados son comparables a los reportados por González – Cuello et al. (2017) quien obtuvo películas de APSI-sorbitol con el parámetro b^* entre 10,12 – 15,46.

La figura 11 muestra la gráfica para el parámetro b^* con relación a la concentración de carboximetilcelulosa de las películas de APSI-sorbitol. La gráfica se ajustó mejor a un modelo polinomial de tercer grado con un coeficiente de regresión de $R^2 = 95.49\%$. La

gráfica pone en manifiesto que las películas alcanzan valores altos de b^* a concentraciones altas de APSI (mayores a 10 %) y a bajas concentraciones de Sor (0 – 10%).

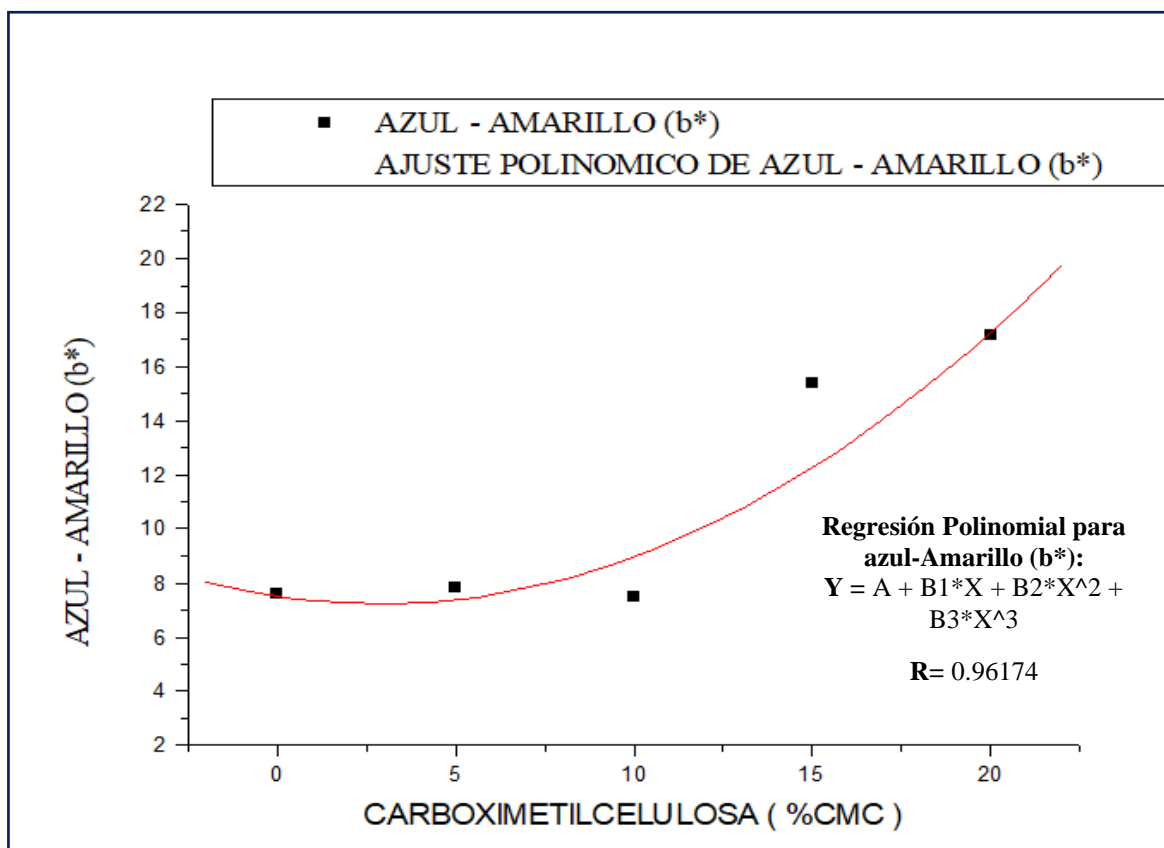


Figura 11. Azul – Amarillo (b^*) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC).

El análisis de varianza ANOVA (tabla 18) revela que la concentración de CMC ejerce influencia significativa sobre el parámetro b^* de las películas ($P < 0,05$). La prueba estadística de Tukey (tabla 20) muestra que las muestras con 0, 5 y 10% de CMC presentan resultados cercanos entre sí, los cuales no provocan variación significativa en cuanto al parámetro de estudio. Sin embargo, para concentraciones de 15 y 20% de CMC la diferencia se vuelve significativa. De modo que, a medida que la concentración de CMC aumenta el incremento del color amarillo de la película es cada vez mayor (figura 11). Este comportamiento es similar a lo reportado por autores como González (2017) quien obtuvo películas con tonalidades amarillas a partir de APSI-sorbitol, Denavi et al (2009) en películas de aislado proteico de soja (APS)-gelatina de piel de bacalao, Ramos et al (2009) en películas de concentrado proteico de lacto suero y en películas de proteína de músculo de pescado (tilapia) (Paschoalick, et al., 2003).

3.8. Solubilidad (%)

Las solubilidades de las películas elaboradas en el presente trabajo estuvieron en el rango de $31.399 \pm 3.917\%$ a $55.523 \pm 3.968\%$. En la figura 12 podemos ver que la diferencia de solubilidades está determinada principalmente por la composición de carboximetilcelulosa y su formulación en las películas. Según Bertuzzi et al. (2007) la carboximetilcelulosa es un biopolímero de carácter hidrofílico así como plastificantes como el glicerol; esta característica permite explicar el comportamiento de la solubilidad de las películas compuestas por CMC/APSI-sorbitol. Aguilar-Méndez et al. (2012), observó el comportamiento de la solubilidad frente a la concentración de glicerol en películas a base de Gelatina-Carboximetilcelulosa se encontró que la concentración de glicerol tuvo gran importancia en la solubilidad de las películas debido a que es una molécula hidrófila, ésta es compatible con los biopolímeros que conforman la película. Debida al carácter hidrofílico que presentan los derivados de celulosa, el cual se debe a la estructura del material ya que a diferencia de la celulosa que presentan una estructura generalmente amorfa lo que le hace que sea más susceptible a interaccionar con moléculas de agua (Adinugraha et al., 2005). Particularmente de la carboximetilcelulosa, presente grupos hidroxilos libres con los cuales pueden interaccionar las moléculas de agua aumentando la solubilidad de la misma, esta propiedad también está relacionada con las propiedades de barrera al vapor de agua, ya que entre mayores sean los valores de barrera menor será su solubilidad en agua (Olivas et al., 2007)

La solubilidad de las películas de CMC/APSI-sorbitol son comparables a las películas elaboradas por (Ciannamea et al., 2014) registrando un $52,8 \pm 3,1\%$ de solubilidad en películas compuestas por aislado proteico de soya-glicerol y según Makishi et al., (2013), en películas de concentrado proteico de ricino y glicerol se registra una solubilidad de $48,4 \pm 1,8\%$.

En la gráfica de la figura 12 se observa la relación entre la concentración de CMC (%) y la solubilidad de las películas de APSI-sorbitol. Se observa que cuando la concentración de CMC aumenta, la solubilidad disminuye. De este modo se observa que a partir de porcentajes mayores al 10% de CMC las películas son más solubles en agua y concentraciones menores al 10% la solubilidad de las películas es baja.

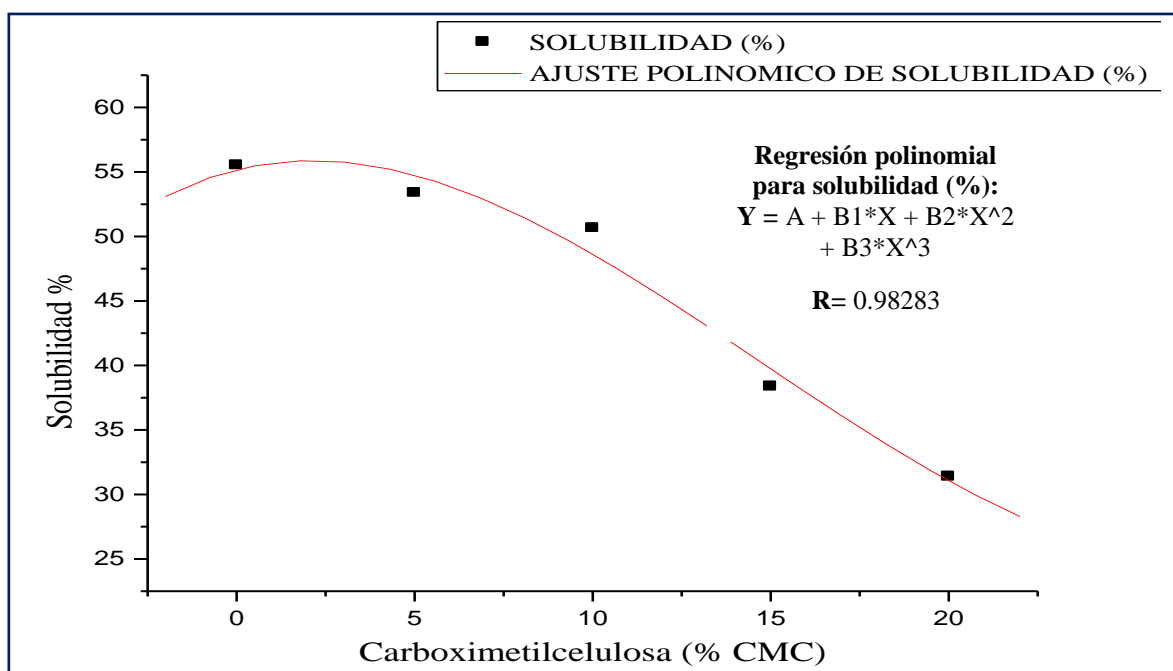


Figura 12. Solubilidad (%) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC).

La figura 12 se ajustó mejor a un modelo polinomial de tercer grado con tendencia a disminuir linealmente hacia abajo debido al incremento del %CMC. Además, la gráfica presenta un coeficiente de regresión de $R^2 = 96.60\%$ lo que indica un alto grado predictivo en el modelo de ajuste realizado.

El análisis estadístico realizado ANOVA para la variable de solubilidad (tabla 21) manifiesta que la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC) ejerce influencia significativa ($P < 0,05$) sobre la solubilidad de las películas compuestas por APSI-sorbitol. Así mismo, la prueba de Tukey (tabla 23) revela que las películas compuestas con porcentaje de 15 y 20% de CMC son altamente significativos comparadas con las películas con 0, 5 y 10% de CMC. Este comportamiento permite conocer que para obtener películas con baja solubilidad se requiere menor porcentaje de carboximetilcelulosa.

Según Bertuzzi et al. (2007) la carboximetilcelulosa es un biopolimero de carácter hidrofílico así como plastificantes como el glicerol; esta característica permite explicar el comportamiento de la solubilidad de las películas compuestas por CMC/APSI-sorbitol. Aguilar-Méndez et al (2012) observaron el comportamiento de la solubilidad frente a la concentración de glicerol en películas a base de Gelatina-Carboximetilcelulosa se encontró que la concentración de glicerol tuvo gran importancia en la solubilidad de las películas

debido a que es una molécula hidrófila, ésta es compatible con los biopolímeros que conforman la película (Bertuzzi et al., 2007), porque a mayor concentración de glicerol, la solubilidad de la película se favoreció. Esta propiedad también está relacionada con las propiedades de barrera al vapor de agua, ya que entre mayores sean los valores de barrera menor será su solubilidad en agua (Olivas et al., 2007)

3.9. Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas se contemplaron entre un rango de 3.059 ± 0.368 a $3.853 \pm 0.021 \times 10^{-12} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. Los valores de las películas de la presente investigación elaboradas a partir de APSI y CMC se encuentran en la tabla 8.

En la tabla 10 se presenta valores de PVA de diversas películas comestibles hechas principalmente de concentrados o aislados proteicos vegetales. Los resultados permitieron observar que las películas elaboradas a partir de APSI-sorbitol ($2,25 \pm 0,10 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1} \times 10^{-10}$) obtenidas por González (2017) y menos permeables que películas sintéticas de celofán ($7,7 - 8,4 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$) (Gennadios et al., 1994).

Tabla 10

Permeabilidad al vapor de agua de películas a base de proteína.

Composición	PVA ($10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$)	Autores
Aislado proteico de maní y Glicerol	$1,05 \pm 0,15$	(Janchud y Chinnan, 1999)
Zeína de maíz y Glicerol	$1,16 \pm 0,19$	(Park y Chinnan, 1995)
Concentrado proteico de lenteja y Glicerol	$3,095 \pm 0,02$	(Bamdad, Goli, y Kadivar, 2006)
Aislado proteico de Soya y Glicerol	$3.36 \pm 0,19$	(Jian, Xiong, Newman, y Rentfrow, 2012)
Gluten de trigo y Glicerol	1,36	(Gontard, Guilbert, y Cuq, 1993)
Concentrado proteico de Soya y Glicerol	$3,09 \pm 0,30$	(Ciannamea, Stefani, y Ruseckaite, 2014)

Fuente. Adaptado de González (2017)

En la figura 13 se aprecia la permeabilidad al vapor de agua con relación a la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC). La gráfica se ajustó mejor a un modelo polinomial de tercer grado con tendencia a disminuir la permeabilidad; el modelo de ajuste presentó un coeficiente de regresión de $R^2 = 97.944\%$ lo que significa un alto nivel de predicción.

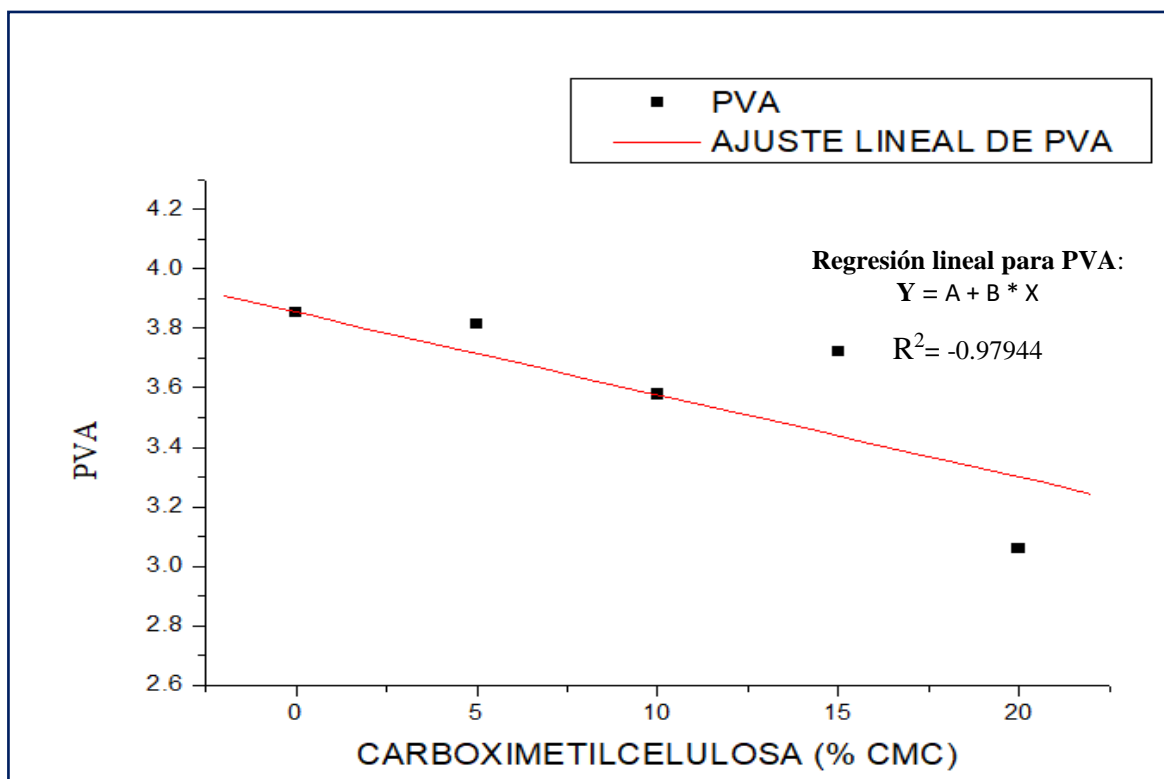


Figura 13. Permeabilidad al vapor de agua (PVA) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)

En la figura 13 la gráfica muestra que la permeabilidad disminuye a medida que la concentración de carboximetilcelulosa (%) incrementa. De este modo se puede obtener películas con baja permeabilidad empleando mayores concentraciones de CMC (mayores a 15%).

El análisis de varianza (ANOVA) para la permeabilidad al vapor de agua (tabla 24) revela que la concentración de %CMC influye significativamente sobre la permeabilidad al vapor de agua ($P < 0,05$). Este comportamiento de la permeabilidad al vapor de agua (PVA) causado por la influencia de un agente estabilizante como la carboximetilcelulosa ha sido reportado por Ghanbarzadeh et al. (2010), en su estudio, la adición de la

carboximetilcelulosa produjo una disminución de la permeabilidad al vapor de agua (de 7.361 a $6.667 \times 10^{-11} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) de las películas obtenidas.

Según QuimiNet (2006) la carboximetilcelulosa es un estabilizante de carácter hidrofílico, alta viscosidad en soluciones diluidas y posee buenas propiedades para formar películas. Así mismo presenta buenas propiedades para formar películas con un excelente comportamiento como coloide protector y adhesivo, lo cual permite ser empleado como recubrimiento para evitar fugas de aire y fluidos. Estas características del CMC podría explicar la influencia que causa sobre la permeabilidad de las películas de CMC/APSI-sorbitol.

3.10. Grosor (mm)

El grosor de las películas obtenidas en el presente trabajo se encontró en un promedio de $0.1618 \pm 0.017 \text{ mm}$, estos resultados son similares a los reportados por González – Cuello et al.(2017) quien obtuvo películas a base de carboximetilcelulosa (CMC) y goma xantana (GX) con espesores entre 0.16 y 0.18 mm . Espesores menores (0.09 a 0.124 mm) fueron reportados por González (2017) en películas comestibles a base de Aislado proteico de Sacha Inchi y sorbitol. De este modo, las películas obtenidas se encuentran dentro del parámetro de espesor según la norma ASTM (1985) quienes establecen que los espesores para biopelículas deben ser menores a 0.25 mm .

El ANOVA del grosor (tabla 27) se puso de manifiesto que la concentración de CMC influyeron significativamente en el grosor ($P < 0.05$). Sin embargo, la prueba de Tukey muestra que los únicos tratamientos significativos (0.170 y 0.167 mm) son las películas con 10 y 20% de CMC respectivamente, los cuales difieren del resto de los tratamientos promedios (0.157 mm).

En la figura 14 la relación del grosor y la concentración de carboximetilcelulosa se ajustó mejor a un modelo lineal de grado 1 con un coeficiente de regresión bajo $R^2 = 40.406\%$, esto debido a la dispersión entre los tratamientos para 10 y 20% .

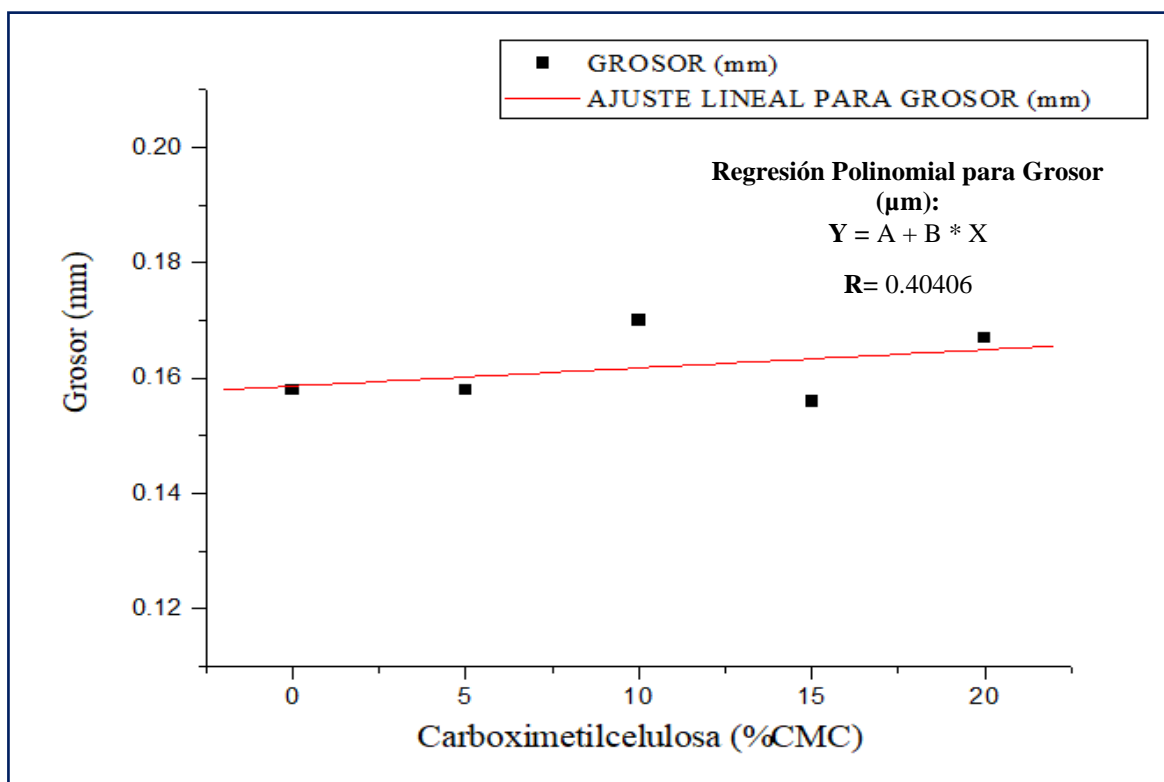


Figura 14. Grosor (mm) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)

En la figura 14 se presenta el comportamiento del grosor de las películas de APSI frente a la adición de %CMC, se observa que el grosor se incrementa a partir de un 10% de CMC, pero luego a un 15% de CMC disminuye volviendo a ser constante a los dos primeros tratamientos (0 y 5% de CMC), finalmente tiende a incrementar el grosor para un 20% de CMC, el comportamiento que presenta el grosor de las películas parece resultar muy variable, sin embargo algunos autores trataron de explicar la variación del grosor de películas a base de dos o más biopolímeros; Gonzales-Cuello (2017) registró grosores entre 0.16 ± 0.01 a 0.18 ± 0.01 mm, el autor explica que la mezcla de los polímeros (Carboximetilcelulosa, Goma Gelana y Goma Xantana) que componen las películas originan una red polimérica compacta debido al entrecruzamiento formado dentro de la matriz, causando un leve incremento del espesor. Hernández et al. (2007) obtienen películas a base de mezclas poliméricas con ligeras variaciones en su grosor, mencionan que el tipo de técnica para la obtención de películas afecta fuertemente la microestructura de la película. León (2011) estudió la sección transversal de películas a través de microscopía electrónica de barrido observando un cambio en la superficie de fractura a través de su espesor. En su investigación, el autor evidenció películas con zonas irregulares y accidentadas en el grosor debido a la mezcla de los polímeros.

3.11. Humedad (%)

La humedad que tuvieron las películas de CMC/APSI-sorbitol se encontraron en un promedio de $16 \pm 0.4\%$. Estos valores son menores a los que reportó Rhim et al. (1998) en películas a partir de Aislado Proteico de Soya y Glicerol ($25,2 \pm 1,0\%$) y en películas de Concentrado Proteico de Soya con Glicerol como plastificante, obteniendo valores de humedad de $23,15 \pm 1,6\%$ (Bamdad et al., 2006).

En la figura 15 muestra el contenido de humedad (%) de las películas de APSI-sorbitol con relación a la concentración de carboximetilcelulosa (%). El modelo de ajuste que corresponde a la gráfica fue un modelo polinomial de tercer grado presentando un coeficiente de regresión de $R^2 = 95.708\%$.

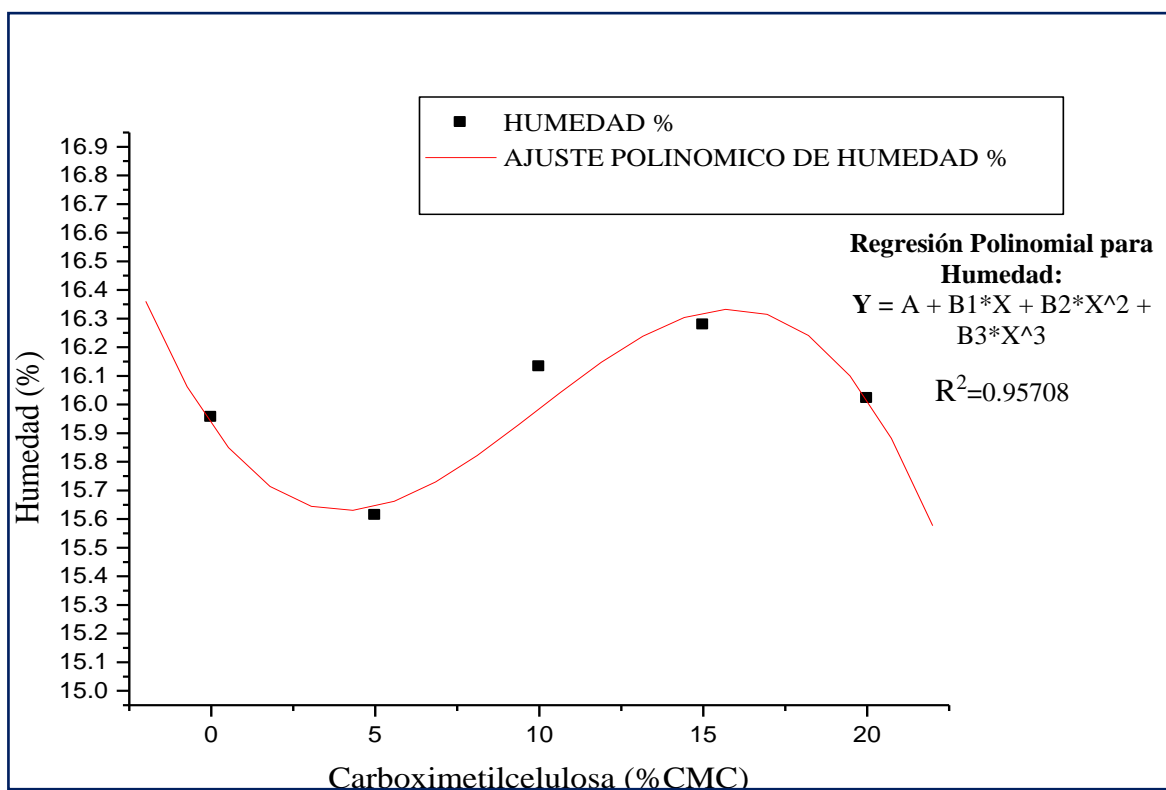


Figura 15. Humedad (%) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)

En la figura 15 se puede apreciar que al agregar 5% de CMC a la composición de APSI-sorbitol el contenido de humedad de las películas fluctuó, obteniendo el valor más bajo ($15.613 \pm 0.279\%$). Posteriormente, a medida que la concentración de CMC aumentaba (15%) se registró un incremento obteniendo el valor más alto de humedad de $16.278 \pm$

0.340%. Luego, el contenido de humedad disminuyó ($16.021 \pm 0.144\%$) para una concentración de 20% de CMC, esto posiblemente se debió al tiempo que se dio a cada tratamiento para secarse, ya que cada tratamiento terminaba de secarse en diferente hora, según algunos autores comprobaron que el tipo de plastificante usado influye sobre el contenido humedad de las películas resultantes. Esto debido a la diferencia de hidrofiliidad e higroscopicidad de los plastificantes empleados en la elaboración de películas (Vanin et al., 2005; Cao et al., 2009; Kowalczyk y Baraniak, 2011).

El análisis de varianza (ANOVA) para el contenido de humedad de las películas y las concentraciones CMC (tabla 30) manifiesta que existe diferencia significativa ($P < 0,05$), lo cual indica que la concentración de CMC provoca cambios en el porcentaje de humedad de las películas de APSI-sorbitol.

Vanin et al. (2005), explican la influencia de la mezcla de dos o más polímeros en el contenido de humedad de las películas debido a la diferencia de las características hidrofílicas e hidrofóbicas de los compuestos presentes en la película. González-Cuello (2017) encontró variaciones en el contenido de humedad de películas elaboradas con Carboximetilcelulosa, Goma Gelana y Goma Xantana; lo cual puede ser consecuencia de una mayor disponibilidad de grupos hidroxilo disponibles para interactuar con moléculas de agua. Además, explica que los grupos hidroxilos y las cadenas del plastificante pueden formar enlaces de hidrógeno polímero - plastificante los cuales remplazarían las interacciones polímero-polímero en las biopelículas. Considerando esto, se puede decir que la presencia de sorbitol y de dos compuestos poliméricos (CMC y APSI) forman las interacciones nuevas como polímero-polímero y/o polímero-plastificante, explicando así el comportamiento en el contenido de humedad de las películas estudiadas.

3.12. Elongación (%)

En la tabla 8 se expresan los resultados para el porcentaje de elongación de las películas de CMC/APSI-sorbitol. Se registraron valores mínimos de elongación de $6.73 \pm 0.45\%$ que corresponde a la concentración de 0% de carboximetilcelulosa y valores máximos de elongación de $11.33 \pm 0.839\%$ correspondiente a la concentración de 12% de carboximetilcelulosa.

En la figura 16 expresa el efecto que genera la concentración de carboximetilcelulosa sobre el porcentaje de elongación en las películas de APSI-sorbitol. La gráfica tuvo un mejor ajuste con el modelo polinomial de tercer grado, con un coeficiente de regresión alto $R^2 = 99.306$ % lo que indica que el modelo es muy predecible.

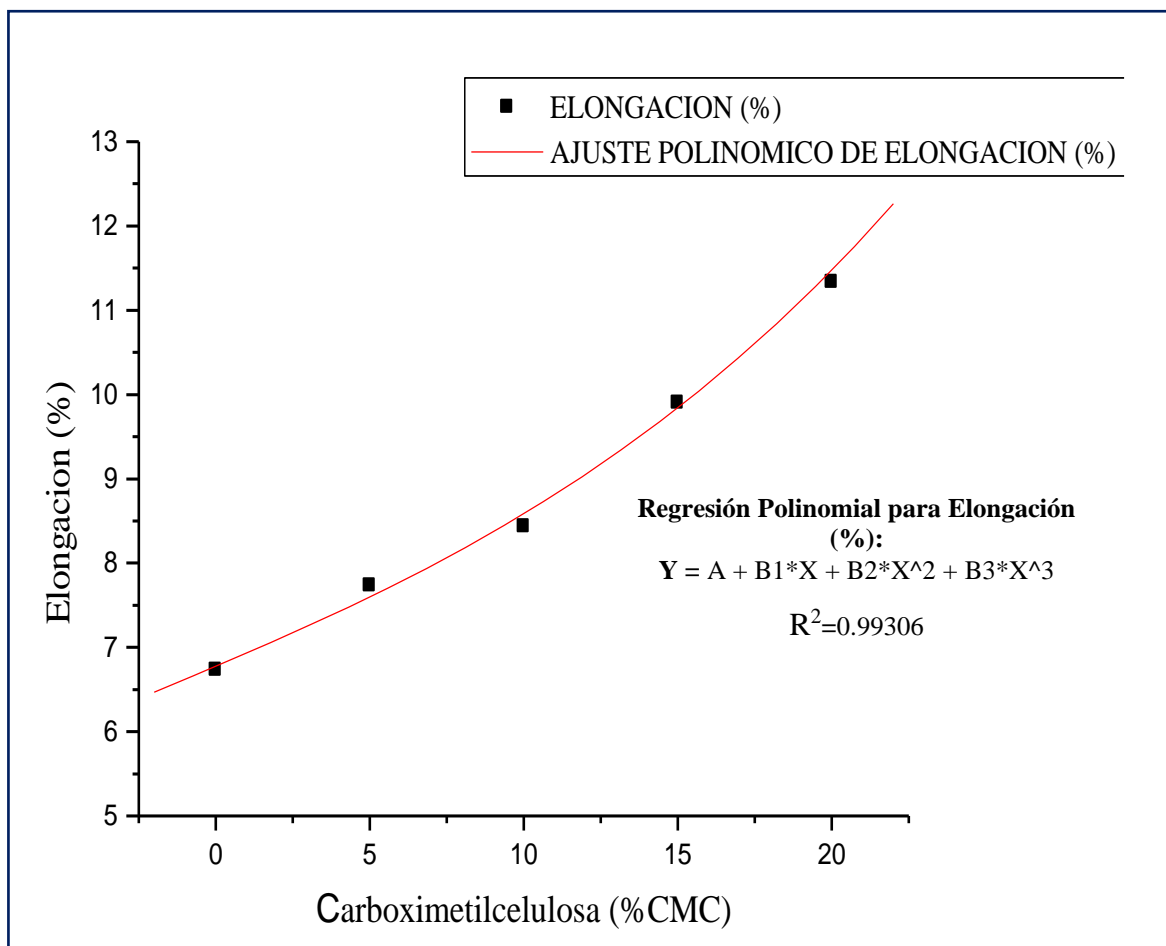


Figura 16. Elongación (%) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)

En la figura 16 se puede observar la gráfica que el porcentaje de elongación tiene tendencia a incrementar exponencialmente hacia arriba a medida que la concentración de CMC es mayor, todas las películas mostraron un comportamiento diferente indicando la influencia del CMC en los tratamientos que se elaboró.

Según el análisis de varianza ANOVA (tabla 33) muestra que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos de estudio, por lo cual se puede afirmar que la adición de carboximetilcelulosa provoca diferencias significativas al porcentaje de elongación de las películas a base de Aislado Proteico de Sacha Inchic y sorbitol.

El comportamiento de incremento de elongación en películas fue registrado por Alata y Cuadros (2017) quienes obtuvieron incrementos en la elongación de hasta 34.14% en películas a base de residuos cítricos y celulosa bacteriana, películas a partir de Goma Gelana con iones de calcio muestran un incremento en el porcentaje de elongación de $0.74 \pm 0.76\%$ a $5.03 \pm 2.01\%$ (González, et al., 2017). Como se puede observar, el comportamiento de las películas muestra que la adición de CMC en la composición de películas a base de APSI provoca un leve incremento (de $6.73 \pm 0.45\%$ a $11.33 \pm 0.839\%$) en el porcentaje de elongación comparado con otros autores. Por lo cual, se puede decir que la adición de algunos componentes poliméricos en la solución filmogénica produce variaciones que le dan nuevas propiedades mecánicas a las películas.

Según Denavi et al. (2009), uno de los parámetros que depende de la aplicación de la película es el porcentaje de elongación, ya que es necesario que la película mantenga su integridad bajo la tensión aplicada normal durante su transporte y manipulación.

3.13. Módulo de Young (N/mm²)

El promedio de los resultados para el porcentaje de elongación de las películas de CMC/APSI-sorbitol se encuentran registrados en la tabla 8. Los datos completos del diseño experimental se muestran en la tabla 11.

En la figura 17 se muestra la gráfica de relación entre el porcentaje de carboximetilcelulosa y el módulo de Young en las películas elaboradas a partir de aislado proteico de sachá inchi. La gráfica se ajustó a un modelo polinomial de tercer grado con un coeficiente de determinación elevado de $R^2 = 99.89\%$ lo cual indica que el modelo de ajuste es altamente predictivo. La gráfica muestra claramente que los valores de módulo de Young tienen una tendencia a disminuir linealmente a medida que la concentración de CMC es mayor. Este comportamiento es de esperarse ya que es inversamente proporcional al porcentaje de elongación el cual aumenta con mayor concentración de CMC.

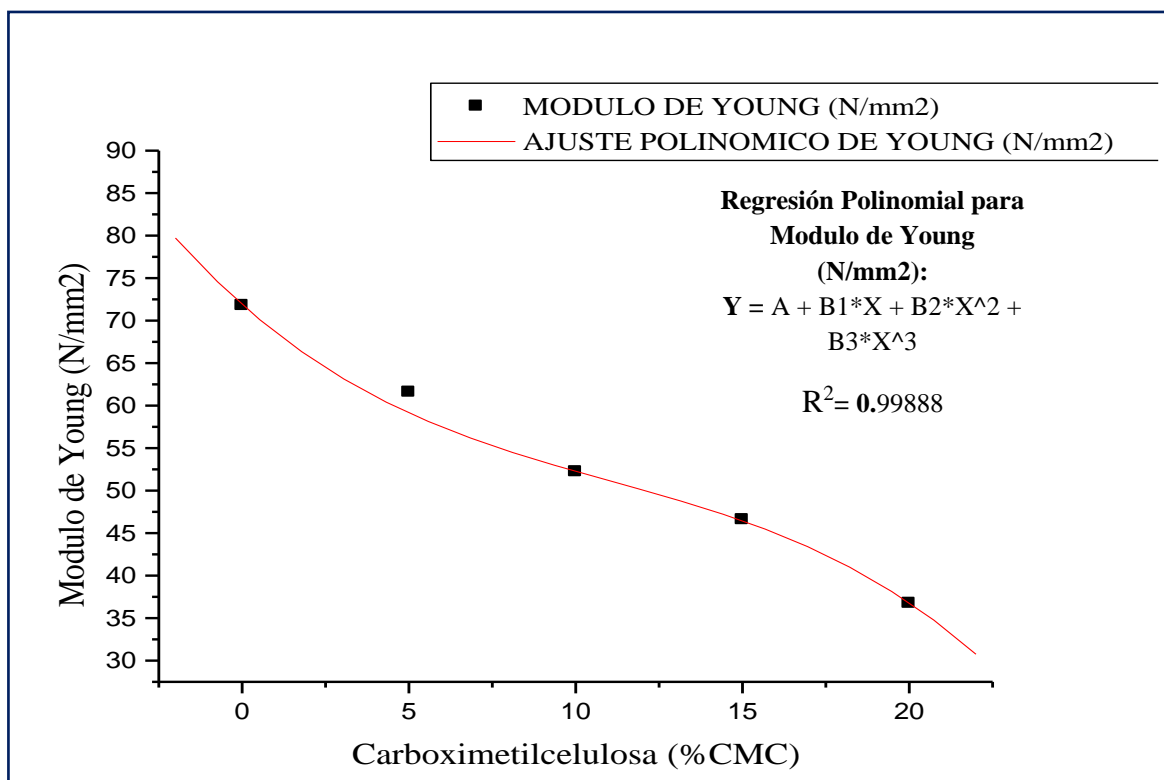


Figura 17. Módulo de Young (N/mm²) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)

Las pruebas experimentales registraron valores máximos de módulo de Young de 71.772 ± 4.01 N/mm² para el menor porcentaje de CMC (0%) y valores mínimos de módulo de Young de 36.746 ± 2.53 N/mm² para películas con mayor porcentaje de CMC (12%). Estos datos permiten expresar que las películas con mayor contenido de CMC 12%, presentaron menor rigidez en comparación con los demás tratamientos.

Según el análisis de varianza (ANOVA) para las películas, el módulo de Young y las concentraciones de CMC (tabla 36) manifiesta que existe diferencia significativa ($P < 0,05$) entre los tratamientos, lo cual indica que la concentración de CMC provoca cambios en módulo de Young de las películas a base de APSI - sorbitol. Este comportamiento es similar a los registrados por Trujillo (2014) quién menciona que la interacción del almidón con el glicerol provoca una disminución en el módulo de elasticidad de las películas, el autor registró valores promedios de módulo de Young de 19.10 Mp.

Según Banker et al. (2003), las propiedades mecánicas que presentan las películas poliméricas son muy importantes para el uso que se le puede atribuir en un futuro. Indican

que las películas de polímeros más sintéticos muestran una combinación de comportamiento elástico y plástico, con un comportamiento plástico cuando el límite elástico, se excede.

En el caso de la presente investigación, se puede apreciar una ligera disminución al módulo elástico (Young), no se observó una gran influencia, posiblemente debido a que el CMC es un polímero biodegradable más no sintético.

3.14. Fuerza de perforación (N)

La fuerza de perforación de las películas a base de CMC - APSI y sorbitol como plastificante se encontraron en el rango de 13.21 a 14.62 N. Los valores mínimos de fuerza de perforación corresponden a las películas elaboradas únicamente con APSI-sorbitol (sin presencia de CMC) y los valores mínimos de fuerza de perforación corresponden a películas elaborados a base de concentraciones de 15% de carboximetilcelulosa - APSI - sorbitol.

La figura 18 muestra la gráfica para la fuerza de perforación (N) de las películas de APSI-sorbitol con relación a la concentración de carboximetilcelulosa (%). El modelo de ajuste que corresponde a la gráfica fue un modelo polinomial de tercer grado presentando un coeficiente de regresión de $R^2 = 99.748 \%$, valor que indica que el modelo de ajuste presenta alta predictibilidad.

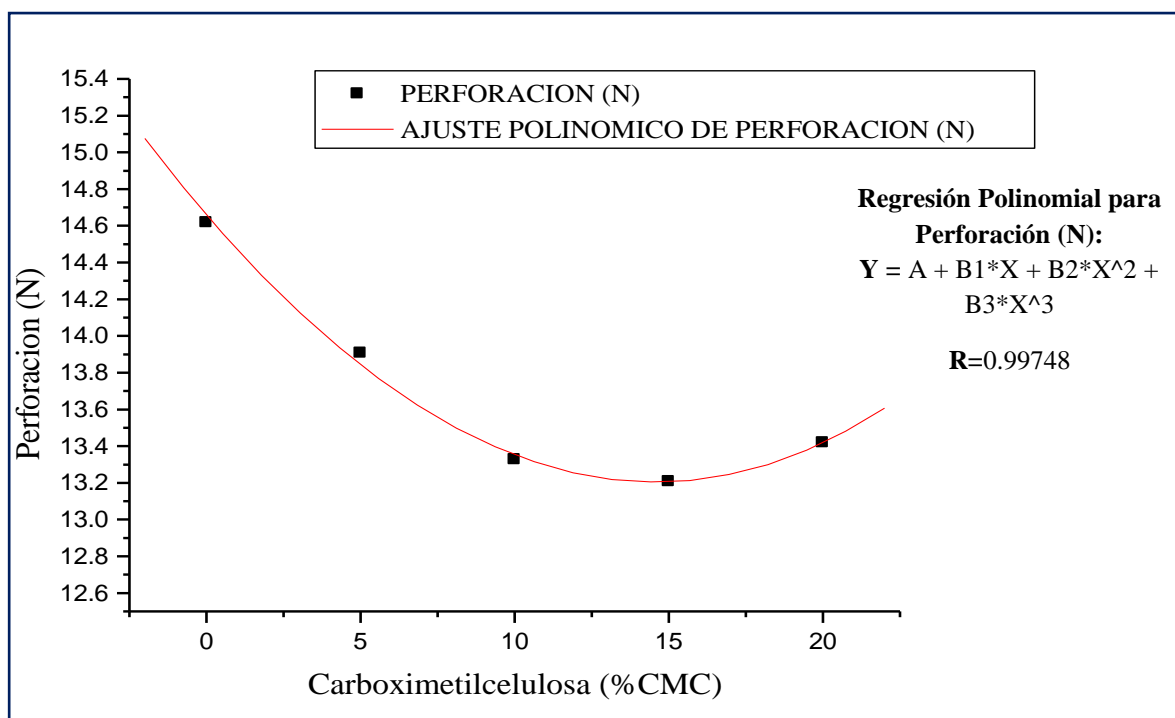


Figura 18. Fuerza de perforación (N) en función de la concentración de carboximetilcelulosa (%CMC)

En la figura 18 se puede apreciar que la fuerza de perforación de las películas disminuye linealmente a medida que la concentración de carboximetilcelulosa aumenta y llega a su punto más bajo a una concentración de 15% de CMC; desde ese punto, al incrementar la concentración de CMC a 20% la fuerza de perforación tiende a incrementar ligeramente. Trujillo (2014), se observó que el contenido de almidón modificado en la composición de películas no tiene influencia significativa para el aumento de la tensión en la ruptura; pero en las interacciones con almidón y proteína; y almidón, agua y proteína si es significativo, esto se debe a la unión entre dos polímeros formando una estructura más rígida. El autor concluye que la combinación con proteína-almidón-glicerol disminuye la fuerza de perforación. Este comportamiento es similar a las películas elaboradas en la presente investigación, por lo cual se puede decir que las proteínas presentan una estructura compleja al mezclarse con otros polímeros y plastificantes como es el caso de carboximetilcelulosa y sorbitol respectivamente.

El análisis de varianza (ANOVA) para la fuerza de perforación de las películas y las concentraciones CMC (tabla 39), manifiesta que existe diferencia significativa ($P < 0,05$), lo cual indica que la concentración de CMC provoca cambios significativos en la propiedad mecánica de fuerza de perforación.

Según Banker et al. (2003), las películas de proteínas exhiben resistencia a la perforación y alta elongación. Infiere que la diferencia puede ser debido a la estructura molecular diferente. La estructura de la cadena de polímero polisacárido es lineal, mientras que las proteínas tienen una estructura compleja debida a las interacciones dentro y entre grupos de radicales molecular. Esta explicación permite dar un panorama a lo que podría estar sucediendo en cuanto al comportamiento de las películas a base de aislado proteico y carboximetilcelulosa y sus propiedades mecánicas.

CONCLUSIONES

1. El aislado proteico obtenido mediante el método de Liofilización presentó un contenido proteico de $84,773 \pm 0,558\%$. La ventaja de utilizar el método de liofilización fue que permitió la obtención de APSI en polvo para una mejor homogeneidad en la solución filmogénica y la obtención de películas biodegradables uniformes.
2. Fue posible la obtención de películas biodegradables a partir de la combinación de biopolímeros como el aislado proteico de Sacha Inchic liofilizado, carboximetilcelulosa y sorbitol como plastificante. Se obtuvieron películas uniformes a diferentes concentraciones de CMC, cada una de estas con propiedades particulares.
3. Las propiedades físicas de las películas obtenidas (ΔE^* , L^* , b^* , solubilidad y permeabilidad al vapor de agua) presentaron influencia significativa a medida que la concentración de la carboximetilcelulosa incrementaba. Las propiedades de espesor y humedad no se vieron afectadas por la concentración de carboximetilcelulosa en las películas, este comportamiento es el esperado debido a que se utilizó la misma cantidad de macromoléculas en todos los tratamientos.
4. Las propiedades mecánicas de las películas (elongación, módulo de Young y fuerza de perforación) se modifican a medida que la concentración de carboximetilcelulosa incrementa. Las propiedades mecánicas se vieron influenciadas de manera positiva por la CMC obteniendo películas más resistentes comparadas con las películas únicamente con APSI - sorbitol.

RECOMENDACIONES

1. Para poder realizar una solución filmogénica deseada, es necesario tener en cuenta las características fisicoquímicas de la carboximetilcelulosa, específicamente la solubilidad en agua que esta presenta (20mg/ml) y la temperatura máxima en la que será sometida la mezcla (80°C). Concentraciones y temperaturas elevadas de Carboximetilcelulosa en la solución pueden dificultar y saturar la mezcla hasta el punto de no poder continuar con el trabajo.
2. Como se pueden observar en los resultados, las películas presentaron características físicas y mecánicas deseadas. Sin embargo, en cuanto a las propiedades como elongación y perforación, el nivel de mejora fue mínimo comparado con otras biopelículas de diferente composición. No obstante, los resultados de la presente investigación son prometedores, por lo cual, se sugiere la posibilidad de utilizar combinaciones terciarias de biopolímeros en la solución filmogénica para que las películas puedan ser consideradas como una fuente de empaque biodegradable y así poder tener aplicaciones alimentarias.
3. Para la obtención de películas homogéneas y uniformes, es necesario realizar un control de la temperatura de secado, ya que las diferentes concentraciones de CMC y APSI en los tratamientos de estudio, podrían ocasionar algunas variaciones en el tiempo de secado. Por lo cual, se recomienda realizar estudios sobre tiempo de secado de las películas para estandarizar el proceso. Del mismo modo, se recomienda llevar a cabo estudios sobre isotermas de adsorción a los tratamientos más prometedores en cuanto a propiedades físico-mecánicas para conocer su comportamiento frente a diferentes humedades relativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adinugrada, M. P., y Matseno, D.W. (2005). Synthesis and characterization of sodium caboxymethylcellulose from cavendish banana pseudo stem (Musa cavedish LAMBERT). *Carbohydrate Polymers*. 62(2):164-169
- Aguilar-Méndez, M. A., Espinoza-Herrera, N. L., Sánchez-Flores, M., Cruz-Orea, A., y Ramírez-Ortíz, M. E. (2012). Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales, Mexico*.
- Ahmadi, R.; y Kalbasi, A. (2012). Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (*Plantago ovata* Forsk). *J. Food Engineering*, 109, 745–751.
- Antonioli, Federico. y Arfini Filippo. (2013). Sacha inchic. Investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de la indicación geográfica en el Perú. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/303851451_sacha_inchi_investigacion_sobre_las_condiciones_para_el_reconocimiento_de_la_indicacion_geografica_en_el_peru.
- Alata, E. M., y Cuadros, Y. B. (2017). “Formulación Y Evaluación Físico Mecánica De Películas Biodegradables En Base A Residuos Cítricos Y Celulosa Bacteriana”. Arequipa - Perú: Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa.
- Arévalo, G. (1996). El cultivo de sachá inchic (*Plukenetia volubilis* L.) en la Amazonía. Tarapoto: INIA, Pronargeb, E. E. A. El Porvenir.
- ASTM. (1992). Designation F119-82: Standard Test Method for Rate of Grease Penetration of Flexible Barrier Materials. *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia, PA, USA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM. (1995). Designation D 523: Standard Test Method for Specular Gloss. *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia, PA, USA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM. (1995b). Designation D 1925: Standard Test Method for Yellowness Index of Plastics. *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia, PA, USA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM. (1995c). Designation D 3985-95: Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate through Plastic Films and Sheeting Using a Coulometric Sensor.

- Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, PA, USA: American Society for Testing and Materials .
- ASTM. (1995d). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM E96: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. Washington, D.C., Washington, USA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM. (1995e). Designation F 1249-90: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission Rate through Plastic Film and Sheeting Using a Modulated Infrared Sensor. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, PA, USA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM. (1997). Designation D 882-97: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, PA, USA: American Society for Testing and Materials.
- Aydemir, L. Y., Gökbulut, A. A., Baran, Y., y Yemenicioğlu, A. (2014). Bioactive, functional and edible film-forming properties of isolated hazelnut (*Corylus avellana* L.) meal proteins. *Food Hydrocolloids*, 36, 130–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.014>
- Bhat, M. K., y Bhat, S. (1997). Cellulose degrading enzymes and their potential industrial applications. *Biotechnol Advances*; 15(3-4):583-620.
- Baldwin, E. A., Nispero-Carriedo, M. O., Hagenmaier, R. D., & Baker, R. A. (1995). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *Hort. Sci.*, 35-38.
- Bamdad, F., Goli, A. H., y Kadivar, M. (2006). Preparation and characterization of proteinous film from lentil (*Lens culinaris*) Edible film from lentis (*Lens culinaris*). *Food Research International*, 106-111.
- Banker, G., Gore, A., y Swarbrick, J. (2003). Water vapor transmission properties of free polymer films. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials .
- Bertuzzi, M., Castro, E., Armada M., y Gottifredi, J.C. (2007). Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal of food engineering*. 80(3):972-978.
- Betancourth, C. F. (2013). Aprovechamiento de la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) mediante extracción por solventes de su aceite. Recuperado de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/970/Betancourth_L%C3%B3pez_Cristhian_Fernando_2013.pdf?sequence=2

- Boateng, J. S., Stevens, H., N., Eccleston, G. M., Auffret, A., D., Humphrey, M. J. y Matthews K. H. 2009. Development and mechanical characterization of solvent-cast polymeric films as potential drug delivery systems to mucosal surfaces. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 35(8): 986-996.
- Bourtoom, T. (2009). Edible protein film: properties enhancement. *International Food Research journal*. 15(2): 167-180
- Bourtoom, T., Chinnan, M. S., Jantawat, P., y Sanguandeeul, R. (2006). Effect of plasticizer type and concentration on the properties of edible film from water-soluble fish proteins in surimi wash-water. *Food Science and Technology International*, 119-126.
- Brioso B. (2007) Evaluación del valor nutricional y energía metabolizable del sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L Walp) integral en pollos de carne. [Tesis de Ingeniero Zootecnista]. Perú, Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva; 45 p.
- Campos, C., Gerschenson, L. N., Flores S. (2011). Development of Edible Films and Coatings with Antimicrobial Activity. *Food Bioprocess Technol* (2011) 4:849– 875.
- Cao, N., Yang, X., y Fu, Y. (2009). Effects of various plasticizers on mechanical and water vapor barrier properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 729-735.
- Carvalho, R. A., Sobral, P., Thomazine, M., Habitante, A. Q., Giménez, B., Gómez-Guillén, M. C., y Montero, P. (2008). Development of edible films based on differently processed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) skin gelatin. *Food Hydrocolloids*, 1117-1123.
- Chambi, H. y Grosso, C. (2011). Effect of surfactants on the functional properties of gelatin polysaccharide based films. *European Food Research and Technology*. 232(1). 63-69.
- Chan, M. A. (2000). Oil-and Oxygen-Barrier Properties of Whey-Protein-Coated Paper. M.S. Thesis. USA: University of California, Davis.
- Cheftel, J.C. Y Cheftel, H. 1980. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Zaragoza, España, Editorial Acribia Vol. I. 333 p
- Cheftel, J. C., Cuq, J. L., y Lorient, D. (1985). Amino acids, Peptides, and Proteins. En O. R. Fennema, *Food Chemistry* (págs. 245-369). New York: Marcel Dekker.
- Ciannamea, E. M., Stefani, P. M., y Ruseckaite, R. A. (2014). Physical and mechanical properties of compression molded and solutions casting soybean protein concentrate based films. *Food Hydrocolloids*, 193-204.

- Cuq, B., Gontard, N., Cuq, J. L., & Guilbert, S. (1998). Packaging films based on myofibrillar proteins: fabrication, properties and applications. *Nahrung-Food*, 42(3–4), 260–263. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3803\(199808\)42:03/04<260::AID-FOOD260>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3803(199808)42:03/04<260::AID-FOOD260>3.0.CO;2-A)
- Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J. A., y Voilley, A. (1998). Edible Films and Coatings: Tomorrow's Packagings: A review. *Critical Reviews in Food Science*, 299-313
- Debeaufort, F., y Voilley, A. (1994). Aroma Compound and Water Vapor Permeability of Edible Films and Polymeric Packagings. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 2871-2875.
- De Mulder-Johnston, C. (1999). Thermal Analysis of, and Oil Migration through Films from, Whey Protein Isolate. Ph.D. Thesis. USA: University of California, Davis.
- Denavi, G. A., Pérez-Mateos, M., Añón, M. C., Montero, P., Mauri, A. N., y Gómez-Guillén, M. C. (2009). Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films. *Food Hydrocolloids*, 2094-2101.
- Deia (Diccionario de Especialidades para la Industria Alimentaria). 2013. Carboximetilcelulosa de sodio, [en línea]. Dirección URL:<<http://www.especialidadalimentaria.com>>. [Consulta: 9 Sep. 2013].
- De Moura, M. R., Lrevice, M. V., Mattoso, L. C. y Zucolotto, V. (2011). Highly stable, edible cellulose films incorporating chitosan nanoparticles. *Journal of fod science*. 76(2):25-29
- DRASAM (2010). “Estudio de la Produccion del Cultivo de (plukenetia volubilis linneo), Sacha Inchi, en el Departamento de San Martin.” – Tarapoto – Perú.
- Espino Diaz., M., Ornelas Paz, J., Martinez-Tellez., M.A., Santillán, C., Barboza-Cánovas, G. V., Zamudio-Flores, P, B, y Olivas, G. I, (2010). Development and characterization of edible films based Mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.) *Journal of food science*, 75(6):347-352.
- Espinoza Herrera, N., Pedroza Islas. R., San Martin Martinez, E., Cruz-Orea. A., y Tomas, S. (2011). Thermal, mechanical and microstructures properties of cellulose derivatives films: a comparative study. *Food biophysics*. 6(1):106-114.
- García, M.; Pinotti, A.; Martino, M. y Zaritzky, N. (2004). Characterization of composite hydrocolloid films *Carbohydrate Polymer* 56:339-345

- Gennadios, A., Bradenburg, A. H., Park, J. W., Weller, C. L., y Testin, R. F. (1994). Water vapor permeability of wheat gluten and soy protein isolate films. *Industrial Crops and Products*, 189-195.
- Gennadios, A., Mchungh, T. H., Weller, C. L., y Krochta, J. M. (1994). Edible coatings and films based on proteins *Trans*.
- Gennadios, A., Weller, C. L., y Gooding, C. H. (1994). Measurements Errors in Water Vapor Permeability of Highly Permeable, Hydrophilic Edible Films. *Journal of Food Engineering*, 395-409.
- Gennadios, A., Weller, C. L., Hanna, M. A., y Froning, G. W. (1996). Mechanical and barrier properties of egg albumen films. *Journal of Food Science*, 585-589.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., y Entezami, A. (2010). Physical properties of edible modified starch/ carboxymethyl cellulose films. *Innovative Food Sciences and Emerging Technologies*.
- Ghasemlou, M.; Khodaiyan, F. (2011). Development and characterization of new biodegradable edible film made from kefir, an exopolysaccharide obtained from kefir grains, *Food Chemistry*, 127, 1496– 1502
- Guérin-Dubiard, C., y Audic, J.-L. (2007). Egg-protein-based films and coatings. En R. Huopalahti, R. López-Fandiño, M. Anton, y R. Schade, *Bioactive Egg Compounds* (págs. 265-273). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Gilbert, S., y Pegaz, D. (1969). Find New Way to Measure Gas Permeability. *Packaging Engineering*, 66-69.
- Gontard, N., Guilbert, S., y Cuq, J. L. (1992). Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 190-195.
- Gontard, N., Guilbert, S., y Cuq, J. L. (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science*, 206-211.
- González, R. E., Tarón, A., y Colpas, F. (2017). Incidencia de los Iones Divalentes y Monovalentes en las Propiedades Físico Mecánicas y de Barrera en Biopelículas a base de Goma Gelana. *Informacion Tecnológica*, 28 (2), 67-74.
- González - Cuello, R. E., Jaime Pérez-Mendoza, Luis A. García - Zapateiro. (2017). Efecto de la Adición de Goma Gelana sobre las Propiedades de Barrera y Físico Mecánicas de Biopelículas Binarias. *Información Tecnológica*, 28 (1), 143 – 150.

- Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible protective films. En: Food packaging and preservation: Theory and practice, Editado por Mathlouthi, M. Ed. Elsevier Applied Science Publishers, Saint Louis, Missouri, USA.
- Guilbert, S., Cuq, B., y Gontard, N. (1997). Recent innovations in edible and/or biodegradable packaging materials. Food Add. Contam., 741-751.
- Gutiérrez L. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. Grasas y aceites, 62 (1), 76-83.
- Hamaker, B., Valles, C., Gilman, R., Hardmeier, R., Clark, D., Garcia, H., Gonzales, A., Kohlstedt, I., Castro, M., Valdivia, R., Rodriguez, T., Lescano, M. (1992). Amino acid and fatty acid profiles of the Inca Peanut (*Plukenetia Volubilis*). Cereal Chem. 69(4):461 - 463
- Handa, A., Gennadios, A., Froning, G. W., Kuroda, N., y Hanna, M. A. (1999). Tensile, Solubility, and Electrophoretic Properties of Egg White Films as Affected by Surface Sulfhydryl Groups. Journal of Food Science, 82-85.
- Han, J. H. (2014). Edible Films and Coatings: A review. En J. H. Han, Innovations in Food Packaging (págs. 213-255). Plano, Texas: Elsevier
- Hernández, B. E., Cruz, R. R., Robledo, S. F., y Santoyo, M. L. (2007). Caracterización Del Alcohol Polivinílico Usado En Recubrimientos De Base Acuosa. Asociación Farmacéutica Mexicana, A.C. Mexico: Revista Mexicana De Ciencias Farmacéuticas.
- Hernandez, R. J., Giacini, J. R., y Baner, A. L. (1986). The Evaluation of the Aroma Barrier Properties of Polymer Films. Journal of Plastic Film Sheeting, 187-211.
- Janchud, A., y Chinnan, M. S. (1999). Properties of Peanut Protein Film: Sorption Isotherm and Plasticizer Effect. LWT, 89-94.
- Herrera, W., Hernández, C., & Yurany, M. (2010). Potencial industrial de plantas oleaginosas del Caqueta, Amazonia Colombiana. Ingenierías y Amazonia, 28-39.
- Jian, J., Xiong, Y. L., Newman, M. C., y Rentfrow, G. K. (2012). Structure-modifying alkaline and acidic pH-shifting processes promote film formation of soy proteins. Food Chemistry, 1944-1950.
- Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., Prodpran, T., y Tanaka, M. (2006). Characterization of edible films from skin gelatin of brownstripe red snapper and bigeye snapper. Food Hydrocolloids, 492-501.

- Kester, J.J., Fennema, O.R. (1986). Edible films and coatings: A review. *Food Technology*, 40, 47-59. Kester, S. y Fennema, O. *Food Technol.* 40 (12): 47-59, 1986.
- KINSELLA, J. E. (1976). Functional properties of food proteins: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 7: 219 – 280.
- Khan, T. Park, J. K. y Kwon. J. H. (2007). Functional biopolymers produced by biochemical technology considering applications in food engineering. *Korean journal of chemical Engineering*.24(5):816-826.
- Kokoszka, S., Debeaufort, F., Hambleton, A., Lenart, A., y Voilley, A. (2010). Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 503-510.
- Kowalczyk, D., y Baraniak, B. (2011). Effects of plasticizers, pH and heating of film-forming solution on the properties of pea protein isolate films. *Journal of Food Engineering*, 295-305.
- Krochta, J.M.; y de Mulder - Johnston, C. (1997) Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology*. 51(2):61-74.
- Krochta, J. M. (2002). Proteins as Raw Materials for Films and Coatings: Definitions, Current Status, and Opportunities. En A. Gennadios, *Protein-Based Films and Coatings* (págs. 1-41). Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Lee, H., y Min, S. C. (2013). Antimicrobial edible defatted soybean meal-based films incorporating the lactoperoxidase system. *LWT - Food Science and Technology*, 42-50.
- León, H. (2011). Caracterización Térmica, Morfológica Y Determinación De Las Propiedades De Resistencia A La Tensión De Mezclas De Polivinil Alcohol (Pvoh) Y Almidón De Yuca. Colombia: Universidad Nacional De Colombia, Facultad De Ingeniería.
- Leuangasukrer, M., Phupoksakul, T., Tananuwong, K., Borompichaichartkul, C., y Janjarasskul, T. (2014). Properties of konjac glucomannane-whey protein isolate blend films. *LWT - Food Science and Technology*, 94-100.
- Linarez, J. I. (2015). "Elaboración de Películas Comestibles y/o Biodegradables Comestibles utilizando proteína extraídas de la torta de Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis* L.". Tarapoto, San Martín, Perú.
- Logicol S.R.L. (12 de Noviembre de 2014). EasyRGB. Obtenido de EasyRGB Web Site: <http://www.easyrgb.com/>

- Manco, E. 2006. Cultivo del sachu inchi. San Martín, Perú, Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria. 11 p.
- Makishi, G., Lacerda, R. S., Bittante, A. Q., Chambi, H. M., Costa, P. A., Gomide, C. A., . . . Sobral, P. A. (2013). Films based on castor bean (*Ricinus communis* L.) proteins crosslinked with glutaraldehyde and glyoxal. *Industrial Crops and Products*, 375-382.
- Marchessault, R., Sundararajan, P. (1983). Cellulose. In G. O. Aspinall [ed.]. *The Polysaccharides*, Vol 2, 11. Academic Press, NY-USA.
- Marsh, K. y Bugusu, B. 2007. Food packaging-roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science* 72(3): R39-R55.
- Martelli, M. S., Moore, G., Silva Paes, S., Gandolfo, C., y Laurindo, J. B. (2006). Influence of plasticizers on the water sorption isotherms and water vapor permeability of chicken feather keratin films. *LWT - Food Science and Technology*, 39(3), 292–301. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.12.014>
- Matsui, K.; Larotonda, F.; Paes, S.; Luiz, D.; Pires, A. y Laurindo, J. (2004). Cassava bagasse-Kraft paper composites: analysis of influence of impregnation with starch acetate on tensile strength and water absorption properties. *Carbohydrate Polymer* 55: 237-243.
- McHugh, T. H., y Krochta, J. M. (1994). Milk protein based edible films and coatings. *Food Technology*, 97-103.
- MERCADO, J. 2012. Obtención de un aislado proteico a partir de torta del sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.) y evaluación de sus propiedades tecnofuncionales. Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 115 p.
- Merino, C.; Sotero, V.; Del Castillo, D.; Vásquez, G.; Cachique, D. y Vásquez, P. 2008. Caracterización química de nueve ecotipos de *Plukenetia volubilis* L. de los departamentos de Loreto y San Martín. *Folia Amazónica* 17(1/2): 39 – 45.
- Miller, K. S., Upadhyaya, S. K., y Krochta, J. M. (1998). Permeability of D-limonene in whey protein films. *Journal of Food Science*, 244-247.
- Miller, K. S., y Krochta, J. M. (1998). Measuring Aroma Transport in Polymer Films. *Trans. ASAE*, 427-433.
- Mondragón Tarrillo, Iris G. (2009). Estudio farmacognóstico y bromatológico de los residuos industriales de la extracción del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (Sachu 137

inchi). Recuperado de
http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/1502/1/Mondragon_ti.pdf

- Monterrey-Quintero, E. S., y Do Amaral Sobral, P. J. (2000). Extraction and Properties of Nile Tilapia Myofibrillar proteins for edible films. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 179-189.
- Mora, F. (2013). Efecto de la concentración de CMC, goma guar y goma xantana sobre la síntesis, características reológicas y consistencia sensorial de salsa de alcachofa (*cynara scolymus* l.) variedad imperial star. Recuperado: http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/196/1/MORA_FRANCISCO_EFECTO_CONCENTRACION.pdf
- Muñoz, L. A., Aguilera, J. M., Rodriguez-Turiénzo, L., Cobos, A., y Díaz, O. (2012). Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering*, 511-518.
- Nanda, R. y Nayak, P. (2009). Edible biodegradable films for packaging applications. *Popular plastics y packaging*. 54(2):17-22.
- Nelson, D. L., y Cox, M. M. (2005). *Lehninger Principles of Biochemistry*. New York: Freeman and Company.
- Nur Hanani, Z. A., Roos, Y. H., & Kerry, J. P. (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94-102.
- Olivas, G.I., D. S., Barbosa-Cánovas, G. V. l. (2007). Alginate coatings for preservation of minimally processed ‘Gala’ apples. *Postharvest biology and Technology* 45 (1), 89-96
- Park, H. J., y Chinnan, M. S. (1995). Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. *Journal of Food Engineering*, 497-507.
- Park, J. W., Whiteside, W. S., y Cho, S. Y. (2008). Mechanical and water vapor barrier properties of extruded and heat-pressed gelatin films. *LWT*, 692-700.
- Paschoalick, T. M., Garcia, F. T., Sobral, P. A., y Habitante, A. Q. (2003). Characterization of some functional properties of edible films based on muscle proteins of Nile Tilapia. *Food Hydrocolloids*, 419-427.
- Pascual, G., y Mejía M. (2000). Extracción y caracterización de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Anales Científicos UNALM*, 42, 146-160.

- Pérez-Gago, M. B., Nadaud, P., y Krochta, J. M. (1999). Water Vapor Permeability, Solubility, and Tensile Properties of Heat-Denatured versus Native Whey Protein Films. *Journal of Food Science*, 1034-1037.
- Petersson, M, Stading M (2005), Water vapor permeability and mechanical properties of mixed starch monoglyceride films and effect of film forming conditions, *Food Hydrocoll.*, 19, 123–132.
- Peyron, A. (1991). L'enrobage et les produits filmogenes: un nouveau mode déballage. *Viandes Prod. Cares*, 41-46.
- QuimiNet. (2006). Las diversas aplicaciones de la carboximetilcelulosa (CMC) . Mexico DF . Obtenido de QuimiNet.com
- Ramos, Ó. L., Reinas, I., Silva, S. I., Fernandes, J. C., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N., . . . Malcata, F. X. (2013). Effect of whey protein purity and glicerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. *Food Hydrocolloids*, 110-122.
- Rawdkuen, S., Sai-Ut, S., y Benjakul, S. (2010). Properties of gelatin films from giant catfish skin and bovine bone: a comparative study. *European Food Research y technology*. 23(6):907-916
- Rhim, J. -W., Gennadios, A., Weller, C. L., y Hanna, M. A. (1998). Soy protein isolate-dialdehyde starch films. *Industrial Crops and Products*, 195-203.
- Roy, S., Weller, C. L., Gennadios, A., Zeece, M. G., y Testin, R. F. (1999). Physical and Molecular Properties of Wheat Gluten Films Cast from Heated Film-Forming Solutions. *Journal of Food Science*, 57-60.
- Ruíz, V.; Carrera, C.; Yust, M.; Pedroche, J.; Millan, F. y Rodriguez J. 2007. Limited enzymatic hydrolysis can improve the interfacial and foaming characteristics of beta-conglycinin. *Journal Agriculture Food Chemistry* 55(4): 1536 – 1545.
- Salgado, P. R., Molina-Ortiz, S. E., Petruccelli, S., y Mauri, A. N. (2010). Biodegradable sunflower protein films naturally activated with antioxidant compounds. *Food Hydrocolloids*, 525-533.
- Sathe, S. K., Kshirsagar, H. H., y Sharma, G. M. (2012). Solubilization, Fractionation, and Electrophoretic Characterization of Inca Peanut (*Plukenetia volubilis* L.) Proteins. *Plant Foods for Human Nutrition*, 247-255.
- Schuh V., Allard K., Herrmann K., Gibis M., Kohlus R., Jochen W. (2013). Impact of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) on functional

- characteristics of emulsified sausages. *Journal of the American Meat Science Association*, 93: 240-247
- Sobral, P. A., dos Santos, J. S., y García, F. T. (2005). Effect of protein and plasticizer concentrations in film forming solutions on physical properties of edible films based on muscle proteins of a Thai Tilapia. *Journal of Food Engineering*, 93-100.
- Tongdeesoontorn, W., Mauer, L. J., Wongruong, S., Sriburi, P., y Rachtanapun, P. (2011). Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. *Chemistry Central Journal*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-5-6>
- Trujillo, R. C. (2014). "Obtención De Películas Biodegradables A Partir De Almidón De Yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) Doblemente Modificado Para Uso En Empaque De Alimentos". Puerto Maldonado - Perú: Universidad Nacional Amazónica De Madre De Dios.
- Valles, C. R. (1990). El «sacha inchi», planta nativa de importancia proteica y aceitera promisorio para la selva alta. Lima (separata).
- Valles, C. R. (1994). Sacha inchi, importante oleaginosa selvática. *Revista Pura Selva*. (Tingo María): 40-41.
- Vanin, F. M., Sobral, P., Menegalli, F. C., Carvalho, R. A., y Habitante, A. Q. (2005). Effects of plasticizers and their concentrations on thermal and functional properties of gelatin-based films. *Food Hydrocolloids*, 899-907.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. y Gonzales-Martínez, 2008. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews In Food Science y Nutrition*, 48(6):496-511
- Vela Saavedra, Liley (1995). Ensayos para la extracción y caracterización de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el departamento de San Martín. Tesis para optar el título profesional de: Ingeniera agroindustrial. Universidad Nacional de San Martín.
- Wang, L. Z., Li, L., Holmes, J., Kerry, J. F. y Kerry J. P (2007). Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based biopolymer film. *International journal of food science y technology*. 42(9):1128-1138
- Wu, Y., Weller, C. L., Hamouz, F., Cuppett, S. L., y Schnepf, M. (2002). Development and application of multicomponent edible coatings and films: a review. *Adv. Food. Nutr.*, 347-394.

ANEXOS

Anexo 1. Diseño experimental

Tabla 11

Diseño experimental completamente al azar con los valores de los factores y respuestas de sus propiedades físicas (Color, Grosor, Humedad, Solubilidad Permeabilidad al Vapor de Agua), y propiedades mecánicas (Elongación y Perforación)

Factor		Color				Humedad	Solubilidad (%)	Grosor (mm)	PVA ($10^{-12} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$)	Elongación (%)	Módulo de Young (N/mm ²)	Perforación (N)
Tratamiento	% CMC	ΔE^*	L*	a*	b*	(%)						
1	0	75.22	118.18	-0.692	9.534	15.3893	51.066	0.152	3.830	6.300	75.226	14.421
2	0	75.59	118.604	-0.648	5.666	16.44023	56.828	0.136	3.872	6.700	72.720	15.195
3	0	75.405	118.392	-0.67	7.6	16.03573	58.674	0.185	3.857	7.200	67.370	14.234
4	5	76.13	119.088	0.19	4.216	15.44253	52.551	0.157	4.234	7.300	67.595	13.899
5	5	74.48	117.44	-0.466	6.522	15.46217	55.918	0.173	3.373	8.100	50.503	14.217
6	5	72.308	118.456	-1.68	12.716	15.93555	54.224	0.145	3.838	7.800	66.667	13.601
7	10	70.358	120.318	-0.014	5.088	15.65927	54.681	0.178	3.519	8.100	53.185	13.224
8	10	71.1125	121.0725	0.3375	10.205	16.06983	50.109	0.169	3.629	8.400	50.923	13.245
9	10	69.52	118.48	-0.3	7.13	16.66753	47.204	0.163	3.582	8.800	52.562	13.511
10	15	72.062	115.022	-0.136	11.594	15.97157	34.567	0.154	3.712	9.700	48.422	13.165
11	15	66.23	111.366	-2.13	17.86	16.64363	39.771	0.158	3.625 3.826	10.200	44.262	13.251
12	15	62.6	113.75	-1.155	16.6975	16.22	40.812	0.156		9.800	47.037	13.206
13	20	60.015	105.165	-1.19	17.475	16.02133	31.399	0.167	2.687	10.800	39.548	13.418
14	20	59.602	104.746	-1.202	16.224	15.87717	27.482	0.199	3.423	10.900	36.078	13.403
15	20	59.004	104.152	-1.114	17.87	16.1655	35.315	0.135	3.068	12.300	34.612	13.432

Fuente: Elaboración propia

2.1. ANOVA de claridad (L*).

Tabla 12

Análisis de varianza de la variable claridad (L*).

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F-Ratio	Sig.
Entre grupos	468,327	4	117,082	94,147	0,000
Dentro de grupos	12,436	10	1,244		
Total	480,763	14			

2.2. Pruebas Post Hoc de claridad (L*).

Tabla 13

Comparaciones múltiples de claridad (L*).

Variable dependiente: Claridad (L*)

	(I) CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	0,064000	0,910533	1,000	-2,93264	3,06064
		10	-1,564833	0,910533	0,465	-4,56147	1,43181
		15	5,012667*	0,910533	0,002	2,01603	8,00931
		20	13,704333*	0,910533	0,000	10,70769	16,70097
	5	0	-,064000	0,910533	1,000	-3,06064	2,93264
		10	-1,628833	0,910533	0,429	-4,62547	1,36781
		15	4,948667*	0,910533	0,002	1,95203	7,94531
		20	13,640333*	0,910533	0,000	10,64369	16,63697
	10	0	1,564833	0,910533	0,465	-1,43181	4,56147
		5	1,628833	0,910533	0,429	-1,36781	4,62547
		15	6,577500*	0,910533	-	3,58086	9,57414
		20	15,269167*	0,910533	-	12,27253	18,26581
	15	0	-5,012667*	0,910533	0,002	-8,00931	-2,01603
		5	-4,948667*	0,910533	0,002	-7,94531	-1,95203
		10	-6,577500*	0,910533	-	-9,57414	-3,58086
		20	8,691667*	0,910533	-	5,69503	11,68831
	29	0	-13,704333*	0,910533	-	-16,70097	-10,70769
		5	-13,640333*	0,910533	-	-16,63697	-10,64369
		10	-15,269167*	0,910533	-	-18,26581	-12,27253
		15	-8,691667*	0,910533	-	-11,68831	-5,69503

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 14

Subconjuntos homogéneos de claridad (L).*

CMC	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
20	3	104,68767	113,37933	
15	3			
5	3			118,32800
0	3			118,39200
10	3			119,95683
Sig.		1,000	1,000	0,429

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

Anexo 3. Análisis de Verde - Rojo (a*)

3.1. ANOVA de Verde - Rojo (a*)

Tabla 15

Análisis de varianza de la variable Verde – Rojo (a)*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F-Ratio	Sig.
Entre grupos	2,744	4	0,686	1,716	0,223
Dentro de grupos	3,998	10	0,400		
Total	6,742	14			

3.2. Pruebas Post Hoc de Verde - Rojo (a*)

Tabla 16

Comparaciones múltiples de Verde - Rojo (a)*

- Variable dependiente: Verde - Rojo (a*)

	(I) CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	-0,018000	0,516277	1,000	-1,71711	1,68111
		10	-0,677833	0,516277	0,690	-2,37694	1,02128
		15	0,470333	0,516277	,886	-1,22878	2,16944
		20	0,498667	0,516277	0,864	-1,20044	2,19778
	5	0	0,018000	0,516277	1,000	-1,68111	1,71711
		10	-0,659833	0,516277	0,709	-2,35894	1,03928
		15	0,488333	0,516277	0,873	-1,21078	2,18744
		20	0,516667	0,516277	0,849	-1,18244	2,21578
	10	0	0,677833	0,516277	0,690	-1,02128	2,37694
		5	0,659833	0,516277	0,709	-1,03928	2,35894
		15	1,148167	0,516277	0,246	-0,55094	2,84728
		20	1,176500	0,516277	0,228	-0,52261	2,87561
	15	0	-0,470333	0,516277	0,886	-2,16944	1,22878
		5	-0,488333	0,516277	0,873	-2,18744	1,21078

		10	-1,148167	0,516277	0,246	-2,84728	0,55094
		20	0,028333	0,516277	1,000	-1,67078	1,72744
	20	0	-0,498667	0,516277	0,864	-2,19778	1,20044
		5	-0,516667	0,516277	0,849	-2,21578	1,18244
		10	-1,176500	0,516277	0,228	-2,87561	0,52261
		15	-0,028333	0,516277	1,000	-1,72744	1,67078

Tabla 17*Subconjuntos homogéneos de Verde - Rojo (a*)*

	Carboximetilcelulosa	N	Subconjunto para alfa = 0.05
			1
HSD Tukey ^a	20	3	-1,16867
	15	3	-1,14033
	0	3	-0,67000
	5	3	-0,65200
	10	3	0,00783
	Sig.		0,228
Tukey B ^a	20	3	-1,16867
	15	3	-1,14033
	0	3	-0,67000
	5	3	-0,65200
	10	3	0,00783

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Anexo 4. Análisis de Azul - Amarillo (b*)

4.1. ANOVA de Azul-Amarillo (b*)

Tabla 18

Análisis de varianza de la variable Azul-Amarillo(b)*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F-Ratio	Sig.
Entre grupos	274,806	4	68,702	8,268	0,003
Dentro de grupos	83,092	10	8,309		
Total	357,898	14			

4.2. Pruebas Post Hoc de Azul-Amarillo (b*)

Tabla 19

Comparaciones múltiples de Azul-Amarillo (b)*

- Variable dependiente: Azul-Amarillo (b*)

	(I) CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	-0,218000	2,353601	1,000	-7,96389	7,52789
		10	0,125667	2,353601	1,000	-7,62023	7,87156
		15	-7,783833*	2,353601	0,049	-15,52973	-0,03794
		20	-9,589667*	2,353601	0,015	-17,33556	-1,84377
	5	0	0,218000	2,353601	1,000	-7,52789	7,96389
		10	0,343667	2,353601	1,000	-7,40223	8,08956
		15	-7,565833	2,353601	0,056	-15,31173	0,18006
		20	-9,371667*	2,353601	0,017	-17,11756	-1,62577
	10	0	-0,125667	2,353601	1,000	-7,87156	7,62023

		5	-0,343667	2,353601	1,000	-8,08956	7,40223
		15	-7,909500*	2,353601	0,045	-15,65539	-0,16361
		20	-9,715333*	2,353601	0,014	-17,46123	-1,96944
	15	0	7,783833*	2,353601	0,049	0,03794	15,52973
		5	7,565833	2,353601	0,056	-0,18006	15,31173
		10	7,909500*	2,353601	0,045	0,16361	15,65539
		20	-1,805833	2,353601	0,934	-9,55173	5,94006
	20	0	9,589667*	2,353601	0,015	1,84377	17,33556
		5	9,371667*	2,353601	0,017	1,62577	17,11756
		10	9,715333*	2,353601	0,014	1,96944	17,46123
		15	1,805833	2,353601	0,934	-5,94006	9,55173

La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 20

Subconjuntos Homogéneos de Azul-Amarillo (b)*

	Carboximetilcelulosa	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD Tukey ^a	10	3	7,47433		
	0	3	7,60000		
	5	3	7,81800	7,81800	
	15	3		15,38383	15,38383
	20	3			17,18967
	Sig.		1,000	0,056	0,934
Tukey B ^a	10	3	7,47433		
	0	3	7,60000		
	5	3	7,81800		
	15	3		15,38383	
	20	3		17,18967	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Anexo 5. Análisis de solubilidad (%)

5.1. ANOVA de solubilidad (%)

Tabla 21

Análisis de varianza de la variable Solubilidad (%)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F-Ratio	Sig.
Entre grupos	1354,183	4	338,546	28,534	0,000
Dentro de grupos	118,647	10	11,865		
Total	1472,830	14			

5.2. Prueba de Post Hoc de solubilidad (%)

Tabla 22

Comparaciones múltiples de solubilidad (%)

- Variable dependiente: Solubilidad (%)

	(I) CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	1,291667	2,812441	0,989	-7,96431	10,54764
		10	4,858000	2,812441	0,461	-4,39798	14,11398
		15	17,139333*	2,812441	0,001	7,88336	26,39531
		20	24,124000*	2,812441	0,000	14,86802	33,37998
	5	0	-1,291667	2,812441	0,989	-10,54764	7,96431
		10	3,566333	2,812441	0,715	-5,68964	12,82231
		15	15,847667*	2,812441	0,002	6,59169	25,10364
		20	22,832333*	2,812441	0,000	13,57636	32,08831
	10	0	-4,858000	2,812441	0,461	-14,11398	4,39798
		5	-3,566333	2,812441	0,715	-12,82231	5,68964

		15	12,281333*	2,812441	0,010	3,02536	21,53731
		20	19,266000*	2,812441	0,000	10,01002	28,52198
	15	0	-17,139333*	2,812441	0,001	-26,39531	-7,88336
		5	-15,847667*	2,812441	0,002	-25,10364	-6,59169
		10	-12,281333*	2,812441	0,010	-21,53731	-3,02536
		20	6,984667	2,812441	0,170	-2,27131	16,24064
	20	0	-24,124000*	2,812441	0,000	-33,37998	-14,86802
		5	-22,832333*	2,812441	0,000	-32,08831	-13,57636
		10	-19,266000*	2,812441	0,000	-28,52198	-10,01002
		15	-6,984667	2,812441	0,170	-16,24064	2,27131

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 23

Subconjuntos homogéneos de solubilidad (%)

	CMC	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD Tukey ^a	20	3	31,39867	50,66467
	15	3	38,38333	
	10	3		
	5	3		
	0	3		
	Sig.		0,170	0,461

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Anexo 6. Análisis de permeabilidad al vapor de agua (10-10 g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹)

6.1. ANOVA de permeabilidad al vapor de agua (10-10 g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹)

Tabla 24

Análisis de varianza de la variable de permeabilidad al vapor de agua (10-10 g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F-Ratio	Sig.
Entre grupos	1,253	4	0,313	4,677	0,022
Dentro de grupos	,670	10	0,067		
Total	1,923	14			

6.2. Prueba de Post Hoc de permeabilidad al vapor de agua (10-10 g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹)

Tabla 25

Comparaciones múltiples de permeabilidad al vapor de agua (10-10 g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹)

- Variable dependiente: PVA

	(I) CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	0,038000	0,211303	1,000	-0,65742	0,73342
		10	0,276333	0,211303	0,693	-0,41908	0,97175
		15	0,132000	0,211303	0,968	-0,56342	0,82742
		20	0,793667*	0,211303	0,024	0,09825	1,48908
	5	0	-0,038000	0,211303	1,000	-0,73342	0,65742
		10	0,238333	0,211303	0,789	-0,45708	0,93375
		15	0,094000	0,211303	0,991	-0,60142	0,78942

	10	20	0,755667*	0,211303	0,032	0,06025	1,45108
		0	-0,276333	0,211303	0,693	-0,97175	0,41908
		5	-0,238333	0,211303	0,789	-0,93375	0,45708
		15	-0,144333	0,211303	0,956	-0,83975	0,55108
		20	0,517333	0,211303	0,179	-0,17808	1,21275
	15	0	-0,132000	0,211303	0,968	-0,82742	0,56342
		5	-0,094000	0,211303	0,991	-0,78942	0,60142
		10	0,144333	0,211303	0,956	-0,55108	0,83975
		20	0,661667	0,211303	0,064	-0,03375	1,35708
	20	0	-0,793667*	0,211303	0,024	-1,48908	-0,09825
		5	-0,755667*	0,211303	0,032	-1,45108	-0,06025
		10	-0,517333	0,211303	0,179	-1,21275	0,17808
		15	-0,661667	0,211303	0,064	-1,35708	0,03375

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 26

Subconjuntos homogéneos de permeabilidad al vapor de agua (10-10 g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹)

	CMC	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD Tukey ^a	20	3	3,05933	
	10	3	3,57667	3,57667
	15	3	3,72100	3,72100
	5	3		3,81500
	0	3		3,85300
	Sig.		0,064	0,693

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Anexo 7. Análisis de grosor (mm)

7.1. ANOVA de grosor (mm)

Tabla 27

Análisis de varianza de la variable Grosor (mm)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F-Ratio	Sig.
Entre grupos	0,000	4	0,000	0,309	0,866
Dentro de grupos	0,004	10	0,000		
Total	0,004	14			

7.2. Pruebas Post Hoc de grosor (mm)

Tabla 28

Comparaciones múltiples de grosor (mm)

- Variable dependiente: Grosor (mm)

	(I) CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	-0,000667	0,015944	1,000	-0,05314	0,05181
		10	-0,012333	0,015944	0,933	-0,06481	0,04014
		15	0,001667	0,015944	1,000	-0,05081	0,05414
		20	-0,009333	0,015944	0,974	-0,06181	0,04314
	5	0	0,000667	0,015944	1,000	-0,05181	0,05314
		10	-0,011667	0,015944	0,944	-0,06414	0,04081
		15	0,002333	0,015944	1,000	-0,05014	0,05481
		20	-0,008667	0,015944	0,980	-,06114	0,04381
	10	0	0,012333	0,015944	0,933	-0,04014	0,06481
		5	0,011667	0,015944	0,944	-0,04081	0,06414
		15	0,014000	0,015944	0,899	-0,03847	0,06647
		20	0,003000	0,015944	1,000	-0,04947	0,05547

	15	0	-0,001667	0,015944	1,000	-0,05414	0,05081
		5	-0,002333	0,015944	1,000	-0,05481	0,05014
		10	-0,014000	0,015944	0,899	-0,06647	0,03847
		20	-0,011000	0,015944	0,954	-0,06347	0,04147
	20	0	0,009333	0,015944	0,974	-0,04314	0,06181
		5	0,008667	0,015944	0,980	-0,04381	0,06114
		10	-0,003000	0,015944	1,000	-0,05547	0,04947
		15	0,011000	0,015944	0,954	-0,04147	0,06347

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 29

Subconjuntos homogéneos de grosor (mm)

	%CMC	N	Subconjunto para alfa = 0.05
			1
HSD Tukey ^a	15	3	0,15600
	0	3	0,15767
	5	3	0,15833
	20	3	0,16700
	10	3	0,17000
	Sig.		0,899
Tukey B ^a	15	3	0,15600
	0	3	0,15767
	5	3	0,15833
	20	3	0,16700
	10	3	0,17000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Anexo 8. Análisis de humedad (%)

8.1. ANOVA de humedad (%)

Tabla 30

Análisis de varianza de la humedad (%)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	R-Ratio	Sig.
Entre grupos	0,741	4	0,185	1,231	0,358
Dentro de grupos	1,504	10	0,150		
Total	2,245	14			

8.2. Prueba de Post Hoc de humedad (%)

Tabla 31

Comparaciones múltiples de humedad (%)

- Variable dependiente: Humedad (%)

	(I) %CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	0,341672	0,316701	0,813	-0,70062	1,38396
		10	-0,177122	0,316701	0,978	-1,21941	0,86517
		15	-0,323311	0,316701	0,840	-1,36560	0,71898
		20	-0,066244	0,316701	0,999	-1,10853	0,97604
	5	0	-0,341672	0,316701	0,813	-1,38396	0,70062
		10	-0,518794	0,316701	0,508	-1,56108	0,52349
		15	-0,664983	0,316701	0,291	-1,70727	0,37731
		20	-0,407917	0,316701	0,704	-1,45021	0,63437
	10	0	0,177122	0,316701	0,978	-0,86517	1,21941
		5	0,518794	0,316701	0,508	-0,52349	1,56108
		15	-0,146189	0,316701	0,989	-1,18848	0,89610
		20	0,110878	0,316701	0,996	-0,93141	1,15317

	15	0	0,323311	0,316701	0,840	-0,71898	1,36560
		5	0,664983	0,316701	0,291	-0,37731	1,70727
		10	0,146189	0,316701	0,989	-0,89610	1,18848
		20	0,257067	0,316701	0,921	-0,78522	1,29936
	20	0	0,066244	0,316701	0,999	-0,97604	1,10853
		5	0,407917	0,316701	0,704	-0,63437	1,45021
		10	-0,110878	0,316701	0,996	-1,15317	0,93141
		15	-0,257067	0,316701	0,921	-1,29936	0,78522

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 32

Subconjuntos homogéneos de humedad (%)

	%CMC	N	Subconjunto para alfa = 0.05
			1
HSD Tukey ^a	5	3	15,61342
	0	3	15,95509
	20	3	16,02133
	10	3	16,13221
	15	3	16,27840
	Sig.		0,291
Tukey B ^a	5	3	15,61342
	0	3	15,95509
	20	3	16,02133
	10	3	16,13221
	15	3	16,27840

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Anexo 9. Análisis de elongación (%)

9.1. ANOVA de elongación (%)

Tabla 33

Análisis de varianza de elongación (%)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F-Ratio	Sig.
Entre grupos	39,503	4	9,876	39,086	0,000
Dentro de grupos	2,527	10	0,253		
Total	42,029	14			

9.2. Pruebas Post Hoc de elongación (%)

Tabla 34

Comparaciones múltiples de elongación (%)

- Variable dependiente: Elongación (%)

	(I) CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	-1,000000	0,410420	0,182	-2,35073	0,35073
		10	-1,700000*	0,410420	0,013	-3,05073	-0,34927
		15	-3,166667*	0,410420	0,000	-4,51739	-1,81594
		20	-4,600000*	0,410420	0,000	-5,95073	-3,24927
	5	0	1,000000	0,410420	0,182	-0,35073	2,35073
		10	-0,700000	0,410420	0,472	-2,05073	0,65073
		15	-2,166667*	0,410420	0,003	-3,51739	-0,81594
		20	-3,600000*	0,410420	0,000	-4,95073	-2,24927
	10	0	1,700000*	0,410420	0,013	0,34927	3,05073
		5	0,700000	0,410420	0,472	-0,65073	2,05073
		15	-1,466667*	0,410420	0,032	-2,81739	-0,11594
		20	-2,900000*	0,410420	0,000	-4,25073	-1,54927
	15	0	3,166667*	0,410420	0,000	1,81594	4,51739

		5	2,166667*	0,410420	0,003	0,81594	3,51739
		10	1,466667*	0,410420	0,032	0,11594	2,81739
		20	-1,433333*	0,410420	0,037	-2,78406	-0,08261
	20	0	4,600000*	0,410420	0,000	3,24927	5,95073
		5	3,600000*	0,410420	0,000	2,24927	4,95073
		10	2,900000*	0,410420	0,000	1,54927	4,25073
		15	1,433333*	0,410420	0,037	0,08261	2,78406

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 35

Subconjuntos homogéneos de elongación (%)

	Carboximetilcelulosa	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
			1	2	3	4
HSD Tukey ^a	0	3	6,73333			
	5	3	7,73333	7,73333		
	10	3		8,43333		
	15	3			9,90000	
	20	3				11,33333
	Sig.		0,182	0,472	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Anexo 10. Análisis de módulo de Young (N/mm²)

10.1. ANOVA de módulo de Young (N/mm²)

Tabla 36

Análisis de varianza del módulo de Young (N/mm²)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F-Ratio	Sig.
Entre grupos	2187,581	4	546,895	22,644	0,000
Dentro de grupos	241,521	10	24,152		
Total	2429,102	14			

10.2. Prueba de Post Hoc de módulo de Young (N/mm²)

Tabla 37

Comparaciones múltiples de módulo de Young (N/mm²)

- Variable dependiente: Modulo de Young (N/mm²)

	(I) CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	10,183667	4,012651	0,157	-3,02230	23,38963
		10	19,548667*	4,012651	0,005	6,34270	32,75463
		15	25,198333*	4,012651	0,001	11,99237	38,40430
		20	35,026000*	4,012651	0,000	21,82004	48,23196
	5	0	-10,183667	4,012651	0,157	-23,38963	3,02230
		10	9,365000	4,012651	0,211	-3,84096	22,57096
		15	15,014667*	4,012651	0,025	1,80870	28,22063
		20	24,842333*	4,012651	0,001	11,63637	38,04830
	10	0	-19,548667*	4,012651	0,005	-32,75463	-6,34270
		5	-9,365000	4,012651	0,211	-22,57096	3,84096
		15	5,649667	4,012651	0,637	-7,55630	18,85563
		20	15,477333*	4,012651	0,021	2,27137	28,68330
	15	0	-25,198333*	4,012651	0,001	-38,40430	-11,99237
		5	-15,014667*	4,012651	0,025	-28,22063	-1,80870

		10	-5,649667	4,012651	0,637	-18,85563	7,55630
		20	9,827667	4,012651	0,179	-3,37830	23,03363
	20	0	-35,026000*	4,012651	0,000	-48,23196	-21,82004
		5	-24,842333*	4,012651	0,001	-38,04830	-11,63637
		10	-15,477333*	4,012651	0,021	-28,68330	-2,27137
		15	-9,827667	4,012651	0,179	-23,03363	3,37830

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 38

Subconjuntos homogéneos de módulo de Young (N/mm²)

	CMC	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
			1	2	3	4
HSD Tukey ^a	20	3	36,74600			
	15	3	46,57367	46,57367		
	10	3		52,22333	52,22333	
	5	3			61,58833	61,58833
	0	3				71,77200
	Sig.		0,179	0,637	0,211	0,157

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Anexo 11. Análisis de perforación (N)

11.1. ANOVA de perforación (N)

Tabla 39

Análisis de Varianza de Perforación (N)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F-Ratio	Sig.
Entre grupos	4,033	4	1,008	13,191	0,001
Dentro de grupos	0,764	10	0,076		
Total	4,797	14			

11.2. Pruebas Post Hoc de perforación (N)

Tabla 40

Comparaciones múltiples de perforación (N)

- Variable dependiente: Perforación (N)

	(I) CMC	(J) CMC	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0	5	0,711000	0,225727	0,062	-0,03189	1,45389
		10	1,290000*	0,225727	0,001	0,54711	2,03289
		15	1,409333*	0,225727	0,001	0,66645	2,15222
		20	1,199000*	0,225727	0,002	0,45611	1,94189
	5	0	-0,711000	0,225727	0,062	-1,45389	0,03189
		10	0,579000	0,225727	0,151	-0,16389	1,32189
		15	0,698333	0,225727	0,068	-0,04455	1,44122
		20	0,488000	0,225727	0,268	-0,25489	1,23089
	10	0	-1,290000*	0,225727	0,001	-2,03289	-0,54711
		5	-0,579000	0,225727	0,151	-1,32189	0,16389
		15	0,119333	0,225727	0,982	-0,62355	0,86222
		20	-0,091000	0,225727	0,994	-0,83389	0,65189
	15	0	-1,409333*	0,225727	0,001	-2,15222	-0,66645
		5	-0,698333	0,225727	0,068	-1,44122	0,04455
		10	-0,119333	0,225727	0,982	-0,86222	0,62355

		20	-0,210333	0,225727	0,878	-0,95322	0,53255
	20	0	-1,199000*	0,225727	0,002	-1,94189	-0,45611
		5	-0,488000	0,225727	0,268	-1,23089	0,25489
		10	0,091000	0,225727	0,994	-0,65189	0,83389
		15	0,210333	0,225727	0,878	-0,53255	0,95322

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 41

Subconjuntos homogéneos de perforación (N)

	CMC	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD Tukey ^a	15	3	13,20733	
	10	3	13,32667	
	20	3	13,41767	
	5	3	13,90567	13,90567
	0	3		14,61667
	Sig.		0,068	0,062

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.